



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

SKRIPSI - ME 141501

ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS PENGGUNAAN PANEL SURYA DAN TURBIN ANGIN SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN LAMPU PENERANGAN PADA KAPAL PERINTIS 2000 GT

Hutrizain Claudio Raypa Sargih
NRP 04211440000054

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Agoes Achmad Masroeri, M. Eng.
Juniarko Prananda, S. T., M. T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

SKRIPSI - ME 141501

**ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS PENGGUNAAN PANEL SURYA
DAN TURBIN ANGIN SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK UNTUK
MEMENUHI KEBUTUHAN LAMPU PENERANGAN PADA KAPAL
PERINTIS 2000 GT**

Hutrizain Claudio Raypa Sargih
NRP 04211440000054

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Agoes Achmad Masroeri, M. Eng.
Juniarko Prananda, S. T., M. T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS PENGUNAAN PANEL SURYA DAN TURBIN ANGIN SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN LAMPU PENERANGAN PADA KAPAL PERINTIS 2000 GT

SKRIPSI

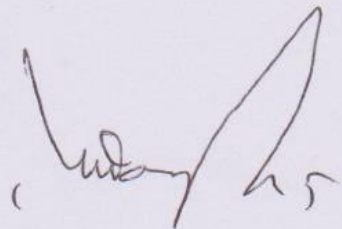
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System* (MEAS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Hutrizain Claudio Raypa Saragih
NRP. 04211440000054

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng
NIP. 1958 0807 1984 03 1004
2. Juniarko Prananda, S.T, M.T.
NIP. 1990 0605 2015 04 1001



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

HALAMAN PENGESAHAN
ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS
PENGUNAAN PANEL SURYA DAN TURBIN ANGIN SEBAGAI SUMBER
ENERGI LISTRIK UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN LAMPU
PENERANGAN PADA KAPAL PERINTIS 2000 GT

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System (MEAS)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Hutrizain Claudio Raypa Saragih
NRP. 04211440000054

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS PENGGUNAAN PANEL SURYA DAN TURBIN ANGIN SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN LAMPU PENERANGAN PADA KAPAL PERINTIS 2000 GT

Nama Mahasiswa : Hutzain Claudio Raypa Saragih
NRP : 0421144000054
Departemen : Marine Engineering
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng
Juniarko Prananda, S.T, M.T

ABSTRAK

Kapal perintis merupakan kapal yang dibuat untuk menghubungkan pelabuhan – pelabuhan yang belum layak secara ekonomi dan bisnis. Dalam penggunaan sehari-hari, kapal sangat bergantung dengan penggunaan bahan bakar minyak untuk menjalankan main engine, generator, generator darurat, dll. Ketergantungan terhadap penggunaan bahan bakar minyak tersebut menyebabkan biaya operasional kapal menjadi tinggi sedangkan di lain sisi pelayaran perintis ini belum layak secara ekonomi dan bisnis. Dalam riset ini ditawarkan solusi berupa penggunaan panel surya dan turbin angin sebagai sumber energi untuk memenuhi kebutuhan listrik untuk lampu penerangan di kapal roto ferry 2000 GT. Dalam riset ini dikaji penggunaan panel surya dan turbin angin secara teknis dan ekonomis mengenai perancangan system tersebut.

Analisa secara teknis dilakukan dengan menghitung kebutuhan daya kelistrikan untuk lampu penerangan dan kemudian menghitung total panel surya dan turbin angin yang dapat diaplikasikan di kapal roto ferry 2000 GT tersebut. Setelah itu dilakukan konfigurasi ulang kebutuhan kelistrikan di kapal akibat penggunaan panel surya dan turbin angin. Analisa secara ekonomis dilakukan dengan membandingkan konsumsi bahan bakar Antara system konvensional yang menggunakan generator dengan system hybrid yang menggunakan generator, panel surya, dan turbin angin dan dilakukan perhitungan Break Even Pointnya.

Dari hasil riset ini, diketahui total daya panel surya dan turbin angin yang dapat diaplikasikan di kapal adalah sebesar 53,94 KW dan 17,42 KW. Dari segi ekonomisnya, dengan penggunaan panel surya dan turbin angin ini dapat menghemat konsumsi bahan bakar di kapal roto ferry 2000GT sebanyak 17,53% per tahun. Dan dengan menghitung biaya investasi, operasional, dan maintenance dari system konvensional dan system hybrid nilai break even point nya diperoleh setelah 3 tahun 10 bulan system tersebut beroperasi.

Kata kunci: panel surya, turbin angin, kapal perintis, break even point

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**TECHNICAL AND ECONOMICAL ANALYSIS OF THE USE OF SOLAR
PANEL AND WIND TURBINE AS SOURCE OF ELECTRICAL POWER TO
FULFILL THE NEED OF LIGHTING LIGHTS IN
THE 2000GT PIONEER SHIP**

Name : Hutrizain Claudio Raypa Saragih
NRP : 04211440000054
Department : Marine Engineering
Advisors : Dr. Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng
Juniarko Prananda, S.T, M.T

ABSTRACT

Pioneer ship are ships made to connect harbors that are not yet economically and viable. In daily use, ships depend heavily on the use of fuel oil to run main engines, generators, emergency generators, etc. This dependence on fuel use causes the operational cost of the vessel to be high while on the other side the pioneer voyage is not yet economically and viable. In this research is offered solution in the form of usage of solar panel and wind turbine as energy source to fulfill the need of lighting lights in roro ferry 2000 GT. In this research we studied the use of solar panels and wind turbines technically and economically about the design of the system.

Technical analysis is done by calculating the electrical power requirements for lighting and then calculating the total solar panels and wind turbines that can be applied in the 2000 GT roro ferry. After that, reconfigure the electrical system in the ship due to the use of solar panels and wind turbines. Economical analysis is done by comparing fuel consumption between conventional system that using generator with hybrid system that using generator, solar panel, and wind turbine and done the calculation of Break Even Point.

From the research, it is known that the total power of solar panels and wind turbines that can be applied on the ship is 53,94 KW and 17.48 KW. In terms of economics, with the use of solar panels and wind turbines can save fuel consumption in 2000GT roro ferry as much as 17.53% per year. And by calculating the investment, operational, and maintenance costs of the conventional system and hybrid system, the break even point value is obtained after 3 years 10 months the system operates.

Keywords: solar panel; wind turbine; pioneer ship; break even point

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis haturkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS PENGGUNAAN PANEL SURYA DAN TURBIN ANGIN SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN LAMPU PENERANGAN PADA KAPAL PERINTIS 2000 GT” dengan baik untuk memenuhi syarat mata kuliah Skripsi (ME141501), Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama proses pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak baik dari segi ilmu pengetahuan dan moral. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak dan mama (Bapak Bistok Saragih dan Ibu Elisna Zakir), abang dan adik (Mauli Saragih dan Hanna Saragih), kekasih saya (Putri Sinaga) dan seluruh keluarga tercinta yang selalu mendoakan saya hingga saat ini.
2. Bapak Dr. Eng. Badrus Zaman, S.T., M.T. dan Bapak Prof. Semin Sanuri, S.T., M.T., Ph.D. selaku ketua departemen dan sekretaris departemen teknik sistem perkapalan, FTK-ITS.
3. Bapak Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen wali saya yang selalu memberikan bimbingan dan arahan tentang perkuliahan saya.
4. Bapak Dr. Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng. dan Bapak Juniarko Prananda, S.T., M.T. selaku dosen membimbing tugas akhir saya yang selalu memberikan masukan dan pikiran sehingga tugas akhir saya dapat diselesaikan dengan baik.
5. Segenap civitas akademika yang telah memberikan bimbingan dan pengajaran selama perkuliahan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS.
6. Sahabat – sahabat saya selama perkuliahan Irwan Nanda Putra, Edwin Caesar, Fahmi F., dan Reggi Irdian.
7. Keluarga PARYASOP JATIM dan STRAITER yang selalu memberikan motivasi dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Keluarga MERCUSUAR'14 sebagai rekan, teman, dan keluarga selama mengikuti perkuliahan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang selalu memberikan motivasi dan dukungan hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
9. Segenap dosen, teknisi, grader, dan member Laboratorium *Marine Electrical and Automation System* (MEAS) yang selalu memberikan dukungan dan bantuan untuk bertukar pikiran selama proses penyusunan tugas akhir.

Laporan ini disusun dengan kemampuan dan bahan yang terbatas, oleh karena itu penulis menyadari bahwa masih terdapat ketidaksempurnaan dalam laporan ini, baik dari segi penulisan, pembahasan maupun penyusunan. Sehingga saran dan koreksi yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk upaya perbaikan laporan ini dan juga

sebagai bekal di masa yang akan datang. Demikian laporan ini disusun dan semoga laporan ini akan berguna bagi para pembaca.

Surabaya, 28 Desember 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GRAFIK	xix
BAB I - PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah.....	1
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Skripsi	2
1.5. Manfaat Skripsi	2
BAB II – DASAR TEORI.....	3
2.1. Kapal Perintis	3
2.2. Energi Angin	4
2.3. Turbin Angin (Wind Turbine)	7
2.4. Panel Surya (Sel surya)	11
2.5. Generator	15
2.6. Baterai	19
2.7. Pembebanan pada Kapal Perintis 2000GT	21
2.8. Tahanan Kapal.....	21
2.9. Stabilitas Kapal.....	21
2.10. Hipotesa Awal	23
BAB III – METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1. Tahapan Pelaksanaan Tugas Akhir.....	25
BAB IV – ANALISA DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Data Kapal Perintis 2000 GT.....	29
4.2 Analisa Beban Lampu Penerangan.....	31
4.3 Analisa Lama Penyinaran dan Kecepatan Angin	34
4.4 Analisa Ketersediaan Energi Surya	37
4.5 Analisa Ketersediaan Energi Angin	38
4.6 Optimasi Pemilihan Panel Surya	40
4.7 Optimasi Pemilihan Turbin Angin	53
4.8 Perhitungan Beban Puncak Penerangan	60
4.9 Konfigurasi Ulang Sistem Kelistrikan.....	73

4.10	Perhitungan Kebutuhan Baterai	77
4.11	Analisa Tahanan Angin pada Turbin Angin	80
4.12	Analisa Tahanan Kapal.....	83
4.13	Perhitungan Daya Main Engine.....	86
4.14	Perhitungan Penurunan Kecepatan Kapal.....	86
4.15	Analisa Stabilitas Kapal.....	87
4.16	Perhitungan Penghematan Bahan Bakar.....	91
4.17	Perhitungan Payload	93
4.18	Perhitungan Break Even Point.....	96
4.19	Rangkaian Instalasi Panel Surya	100
4.20	Rangkaian Instalasi Turbin Angin	103
4.21	Rangkaian Instalasi Baterai	104
4.23	Penggambaran Key Plan.....	105
4.24	Penentuan Daftar Bill of Quantity (BOQ)	108
BAB V – KESIMPULAN DAN SARAN		109
5.1	Kesimpulan	109
5.2	Saran	109
DAFTAR PUSTAKA.....		111
LAMPIRAN		113

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1. Komponen panel surya	12
Gambar II.2. Kaidah tangan kanan.....	16
Gambar II.3. Induksi elektromagnetik.....	18
Gambar II.4. Kaidah tangan kanan.....	19
Gambar II.5. Titik berat kapal	23
Gambar II.6. Geladak navigasi.....	23
Gambar II.7. Atap geladak navigasi	24
Gambar III.1 Diagram alir penelitian	27
Gambar IV.1. Rencana umum kapal perintis 2000 GT	30
Gambar IV.2. Skenario 1 turbin angin	53
Gambar IV.3. Skenario 2 turbin angin	54
Gambar IV.4. Skenario 3 turbin angin	55
Gambar IV.5. Skenario 4 turbin angin	56
Gambar IV.6. Skenario 5 turbin angin	57
Gambar IV.7. Skenario 6 turbin angin	58
Gambar IV.8. Skenario 7 turbin angin	59
Gambar IV.9 Hasil simulasi Aeolos-V 3KW	81
Gambar IV.10 Grafik hasil simulasi Aeolos-V 3KW	81
Gambar IV.11 Hasil simulasi Aeolos-V 10KW	82
Gambar IV.12 Grafik hasil simulasi Aeolos-V 10KW	82
Gambar IV.13 Hasil optimasi pemilihan turbin angin	83
Gambar IV.14 Model kapal.....	84
Gambar IV.15 Kurva tahanan holtrop.....	86
Gambar IV.16 Grafik momen pembalik (GZ).....	89
Gambar IV.17 Rangkaian panel surya navigation deck	100
Gambar IV.18 Rangkaian panel surya awning top deck	101
Gambar IV.19 Rangkaian panel surya awning navigation deck	102
Gambar IV.20 Rangkaian turbin angin	103
Gambar IV.21 Rangkaian baterai.....	104
Gambar IV.22 Tampak depan kapal.....	105
Gambar IV.23 Tampak samping kapal.....	105
Gambar IV.24 Tampak atas awning navigation deck	106
Gambar IV.25 Tampak atas awning top deck	106
Gambar IV.26 Tampak atas navigation deck	107
Gambar IV.27 Tampak atas ruang baterai.....	107
Gambar IV.28 Tampak samping ruang baterai	108

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel IV.1. Data utama kapal.....	29
Tabel IV.2. Data lama waktu penyinaran.....	34
Tabel IV.3. Data kecepatan angin rata-rata.....	35
Tabel IV.4. Hellman exponent	36
Tabel IV.5. Spesifikasi panel surya.....	37
Tabel IV.6 Analisa perhitungan panel surya	38
Tabel IV.7. Spesifikasi turbin angin.....	39
Tabel IV.8. Analisa perhitungan turbin angin	40
Tabel IV.9. Optimasi panel surya di navigation deck	40
Tabel IV.10. Hasil optimasi di navigation deck	44
Tabel IV.11. Optimasi panel surya di awning navigation deck.....	45
Tabel IV.12. Hasil optimasi di awning navigation deck	48
Tabel IV.13. Optimasi panel surya di awning top deck	49
Tabel IV.14. Hasil optimasi di awning top deck	52
Tabel IV.15. Analisa perhitungan skenario 1	53
Tabel IV.16. Analisa perhitungan skenario 2.....	54
Tabel IV.17. Analisa perhitungan skenario 3.....	55
Tabel IV.18. Analisa perhitungan skenario 4.....	56
Tabel IV.19. Analisa perhitungan skenario 5.....	57
Tabel IV.20. Analisa perhitungan skenario 6.....	58
Tabel IV.21. Analisa perhitungan skenario 7.....	59
Tabel IV.22. Hasil optimasi pemilihan turbin angin	59
Tabel IV.23 Beban Penerangan pada Setiap Deck.....	61
Tabel IV.24 Total Beban Penerangan pada Setiap Jam.....	72
Tabel IV.25 Skenario Penggunaan Daya.....	74
Tabel IV.26 Perbandingan Daya Supply - Demand	75
Tabel IV.27 Spesifikasi Baterai.....	77
Tabel IV.28 Hasil Perhitungan Baterai Turbin Angin.....	78
Tabel IV.29 Spesifikasi Baterai.....	79
Tabel IV.30 Hasil Perhitungan Baterai Panel Surya	80
Tabel IV.31 Spesifikasi turbin angin.....	80
Tabel IV.32 Tahanan pada setiap kecepatan	84
Tabel IV.33 Perhitungan daya.....	86
Tabel IV.34 Loadcase stabilitas kapal.....	88
Tabel IV.35 Hasil simulasi stabilitas kapal	90
Tabel IV.36 Fuel Oil Consumption.....	91
Tabel IV.37 Koefisien berat struktur kapal	94
Tabel IV.38 Daftar massa consumable.....	96
Tabel IV.39 Total Biaya Sistem Konvensional	97
Tabel IV.40 Total Biaya Sistem Hybrid.....	97
Tabel IV.41 Bill of Quantity	108

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GRAFIK

Grafik IV.1. Perbandingan daya di navigation deck	41
Grafik IV.2. Perbandingan harga di navigation deck	42
Grafik IV.3. Perbandingan jumlah di navigation deck	42
Grafik IV.4. Perbandingan dayadan luasan di navigation deck	43
Grafik IV.5. Perbandingan total berat di navigation deck	44
Grafik IV.6. Perbandingan daya di awning navigation deck	45
Grafik IV.7. Perbandingan harga di awning navigation deck	46
Grafik IV.8. Perbandingan jumlah di awning navigation deck	47
Grafik IV.9. Daya per luasan di awning navigation deck	47
Grafik IV.10. Perbandingan massa di awning navigation deck	48
Grafik IV.11. Perbandingan daya di awning top deck	49
Grafik IV.12. Perbandingan harga di awning top deck	50
Grafik IV.13. Perbandingan jumlah di awning top deck	50
Grafik IV.14. Daya per luasan di awning top deck	51
Grafik IV.15. Perbandingan total berat di awning top deck	52
Grafik IV.16. Beban Penerangan pada Setiap Jam	73
Grafik IV.17. Perbandingan Daya Supply - Demand	76
Grafik IV.18. FOC Generator 1	92
Grafik IV.19. FOC Generator 2	92
Grafik IV.20. Biaya Bahan Bakar Generator	93
Grafik IV.21. Koefisien outfitting	95
Grafik IV.22. Break Even Point	99
Grafik IV.23. Grafik potensi keuntungan	99

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Kapal perintis merupakan salah satu moda transportasi penting yang biasa digunakan oleh orang banyak. Kapal perintis itu sendiri merupakan proyek dari pemerintah pusat untuk melayani daerah – daerah yang masih terpencil karena belum memberikan manfaat secara komersil. Pada kegiatan pelayaran sehari – hari, kapal perintis umumnya menggunakan bahan bakar fosil untuk memenuhi kebutuhannya di kapal, seperti sebagai penggerak mesin utama kapal maupun sebagai penggerak generator untuk menghasilkan listrik untuk menyuplai kebutuhan listrik di kapal. Tetapi jumlah bahan bakar fosil tersebut apabila digunakan terus menerus dalam jumlah besar akan menyebabkan menipisnya ketersediaan yang dapat membuat harga bahan bakar fosil tersebut semakin tinggi.

Apabila tetap menggunakan bahan bakar fosil dengan harga yang tinggi akan dapat menyebabkan membengkaknya biaya operasional kapal perintis sehingga dapat menyebabkan dinaikkannya harga tiket untuk kapal perintis dengan tujuan untuk menutupi biaya operasional yang semakin membengkak tersebut. Selain kemungkinan terjadinya kelangkaan dan kenaikan dari harga bahan bakar minyak yang digunakan untuk menjalankan generator, sebagai kapal perintis yang melayani daerah – daerah yang belum layak secara komersial, perlu melakukan penghematan untuk meminimalkan biaya operasional seperti pembelian bahan bakar minyak tersebut. Sebagai salah satu cara untuk mengatasi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan untuk melakukan penghematan biaya operasional adalah dengan penggunaan energi terbarukan untuk kapal perintis tersebut yang dapat digunakan untuk menyuplai kebutuhan kelistrikan di kapal seperti lampu penerangan, peralatan navigasi, pompa-pompa, dsb. Energi – energi terbarukan yang dapat digunakan untuk menjadi sumber energi listrik di kapal adalah energi angin dan energi cahaya matahari. Untuk mengubah energi angin menjadi energi listrik dapat menggunakan turbin angin dan untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dapat menggunakan panel surya. Dengan penggunaan energi terbarukan tersebut dapat mengurangi ketergantungan kapal dalam penggunaan bahan bakar fosil. Selain itu, penggunaan energi terbarukan ini juga dapat menghemat pengeluaran operasional di kapal.

1.2. Perumusan Masalah

Dari uraian di atas maka permasalahan utama yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perhitungan pemanfaatan turbin angin sebagai sumber energi listrik untuk penerangan pada kapal perintis 2000GT?

2. Bagaimana perhitungan pemanfaatan panel surya sebagai sumber energi listrik untuk penerangan pada kapal perintis 2000GT?
3. Bagaimana pemilihan penggunaan panel surya dan turbin angin yang tepat untuk penerangan pada kapal perintis 2000GT?
4. Bagaimana mengkaji keekonomisan pemanfaatan panel surya dan turbin angin sebagai sumber energi listrik untuk penerangan pada kapal perintis 2000GT?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data spesifikasi dan data pendukung lainnya merupakan data yang diambil dari data kapal perintis 2000GT
2. Turbin angin menggunakan turbin angin jenis Vertical Axis Wind Turbine
3. Panel surya menggunakan panel surya jenis Crystalline
4. Optimasi pemilihan panel surya dan turbin angin didasarkan pada total harga, total daya, total massa, jumlah, dan daya per luasan yang paling efektif

1.4. Tujuan Skripsi

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui hasil analisa teknis dan perhitungan dari turbin angin sebagai sumber energi listrik untuk penerangan pada kapal perintis 2000GT
2. Mengetahui hasil analisa teknis dan perhitungan dari panel surya sebagai sumber energi listrik untuk penerangan pada kapal perintis 2000GT
3. Mengetahui optimasi pemilihan turbin angin dan panel surya yang tepat dan efisien untuk digunakan pada kapal perintis 2000GT
4. Mengetahui kelayakan dan keekonomisan penggunaan turbin angin dan panel surya untuk digunakan pada kapal perintis 2000GT

1.5. Manfaat Skripsi

Manfaat dari tugas akhir ini adalah diperolehnya hasil analisa teknis dan analisa ekonomis dari penggunaan turbin angin dan panel surya sebagai sumber energi listrik untuk memenuhi kebutuhan penerangan di kapal dan apabila diaplikasikan akan dapat mengurangi biaya operasional kapal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kapal Perintis

Kapal perintis merupakan suatu proyek pembangunan kapal yang dilakukan oleh pemerintah pusat dengan menggunakan dana APBN. Kapal perintis ini difungsikan untuk melayani daerah – daerah yang terpencil yang belum layak secara ekonomi (komersil). Pada tahun 2014, dengan dicanangkannya program tol laut yang lebih menitikberatkan transportasi laut sebagai alur barang dan penumpang menyebabkan pembangunan kapal perintis semakin banyak dilakukan untuk memenuhi rute – rute baru maupun yang telah ada yang direncanakan oleh pemerintah.

Dalam proyek kapal perintis ini, pemerintah memberikan subsidi karena memang proyek kapal perintis ini belum menguntungkan secara ekonomi. Untuk memenuhi kebutuhan angkutan perintis, pemerintah telah membangun berbagai jenis kapal perintis dengan ukuran yang berbeda – beda yang disesuaikan dengan permintaan dan penawaran yang dimiliki oleh setiap daerah. Tipe – tipe kapal perintis yang ada adalah kapal perintis 2000GT, kapal perintis 1200 GT, dan kapal perintis 750 GT.

Kapal perintis ini umumnya difungsikan sebagai angkutan penumpang, kendaraan, dan barang. Jenis – jenis kapal perintis tersebut adalah sebagai berikut:

1. Kapal Ferry

Kapal Ferry merupakan salah satu jenis kapal perintis yang dapat difungsikan untuk mengangkut penumpang dan kendaraan. Kapal ferry memiliki bentuk seperti kapal pada umumnya yang dilengkapi ramp door sebagai jalan masuk dan keluar kendaraan. Kapal ferry umumnya digunakan untuk mengangkut penumpang dan kendaraan dalam jumlah banyak yang dilengkapi lebih dari satu dek untuk mengangkut kendaraan. Kapal ferry umumnya digunakan untuk pelayaran jarak dekat dan tidak membutuhkan waktu yang lama.

2. Kapal Roro Ferry

Kapal Roro Ferry merupakan salah satu jenis kapal perintis yang difungsikan untuk mengangkut penumpang dan kendaraan. Perbedaanannya dengan kapal ferry adalah kapal roro ferry ini seperti jembatan yang bergerak dan umumnya hanya memiliki satu dek saja untuk kendaraan. Sesuai dengan namanya roll on – roll off, kapal jenis ini umumnya mempunyai dua buah ramp door untuk masuk dan keluar di depan dan di belakang. Kapal roro ferry ini biasanya digunakan untuk pelayaran jarak dekat.

3. Kapal Penumpang

Kapal penumpang merupakan kapal perintis yang difungsikan untuk mengangkut penumpang dalam jumlah banyak. Kapal ini lebih ditujukan untuk mengangkut penumpang walaupun juga biasanya memiliki kemampuan untuk mengangkut barang. Kapal penumpang ini biasanya digunakan untuk melakukan perjalanan jarak jauh yang membutuhkan waktu sehari-hari.

Pada usulan tugas akhir ini direncanakan akan menggunakan kapal perintis 2000 GT berjenis ro-ro ferry dengan spesifikasi utama sebagai berikut:

Length overall	(Loa)	: 80,22 m
Length between perpendicular	(Lpp)	: 72,00 m
Lebar	(B)	: 15,20 m
Tinggi	(H)	: 5,10 m
Sarat	(T)	: 3,60 m
Kecepatan Dinas	(Vs)	: 15,00 knot
Motor Induk		: 2 x 2600 HP
Motor Bantu		: 2 x 560 kW
ABK		: 30 Orang
Penumpang Maksimum		: 350 Orang
Kendaraan Maksimum		: 14 unit truk besar (18 T)
		: 16 unit truk sedang (10 T)
		: 13 unit sedan (1,5 T)

2.2. Energi Angin

2.2.1. Pengertian Angin

Angin adalah udara yang bergerak karena adanya perbedaan tekanan yang terjadi antara satu tempat dengan tempat lainnya (Yusman, 2005). Penyebab dari perbedaan tekanan udara ini adalah akibat intensitas cahaya matahari yang mengenai suatu tempat tersebut. Fenomena ini dapat dijelaskan dengan menggunakan rumus gas mulia dimana $P V = n R T$. Udara yang terkena panas matahari akan mengembang yang menyebabkan volumenya meningkat sehingga berdampak pada tekanannya yang semakin kecil (rendah), sedangkan daerah yang terkenan intensitas cahaya rendah menyebabkan tekanan di tempat tersebut tinggi.

Angin memiliki energi yang dapat dimanfaatkan. Energi angin tersebut dapat dikonversikan menjadi bentuk energi lain yaitu energi mekanik yang menggerakkan turbin angin yang kemudian akan menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik. Pemanfaatan energi angin ini telah banyak dilakukan di negara – negara eropa yang memiliki kecepatan angin yang tinggi. Sedangkan di Indonesia sumber energi ini belum terlalu dimanfaatkan karena kecepatan anginnya yang relatif rendah.

2.2.2. Jenis – Jenis Angin

Angin yang mengalir dari suatu tempat ke tempat lain dapat berubah secara dinamis bergantung pada tekanan di tempat tersebut. Angin yang mengalir tersebut memiliki beberapa jenis dengan penamaan yang disesuaikan dengan asal muasal angin tersebut berasal. Jenis – jenis angin tersebut antara lain sebagai berikut:

1. Angin Laut

Angin laut adalah angin yang bertiup dari laut ke darat. Umumnya angin ini terjadi pada saat siang hari.

2. Angin Darat

Angin darat adalah angin yang bertiup dari darat ke laut. Umumnya angin ini terjadi pada saat malam hari.

3. Angin Lembah

Angin lembah terjadi akibat pemanasan yang terjadi lereng gunung sehingga temperaturnya lebih tinggi daripada di lembah. Sehingga tekanan udara di lereng gunung menjadi lebih rendah dibandingkan di lembah yang menyebabkan udara mengalir dari lembah menuju ke lereng gunung. Angin lembah ini umumnya terjadi pada siang hari.

4. Angin Gunung

Angin gunung terjadi pada malam hari. Pada malam hari, temperatur di lereng akan lebih rendah dari pada di lembah sehingga menyebabkan tekanan udara di lereng akan lebih tinggi dibandingkan dengan di lembah. Sehingga udara akan mengalir dari lereng menuju ke gunung.

5. Angin Musim Barat

Angin musim barat / angin muson barat adalah angin yang mengalir saat Benua Asia sedang mengalami musim dingin dan Benua Australia mengalami musim panas sehingga menyebabkan angin akan mengalir dari Benua Asia menuju Benua Australia. Pada saat angin musim barat ini, Indonesia akan mengalami musim hujan karena membawa curah hujan yang tinggi akibat melewati perairan yang luas.

6. Angin Musim Timur

Angin musim timur / angin muson timur adalah angin yang mengalir saat Benua Australia mengalami musim dingin dan Benua Asia mengalami musim kemarau sehingga menyebabkan angin akan mengalir dari Benua Australia menuju Benua Asia. Pada saat angin musim timur ini, Indonesia akan mengalami musim kemarau karena membawa panas yang berasal dari gurun yang terdapat di Benua Australia.

2.2.3. Karakteristik Angin di Indonesia

Indonesia merupakan negara yang terletak di kawasan garis khatulistiwa sehingga Indonesia memiliki iklim tropis. Karakteristik angin di Indonesia tentu berbeda dengan karakteristik angin di negara – negara Eropa yang memiliki iklim sub – tropis. Karakteristik angin di Indonesia antara lain sebagai berikut:

1. Kecepatan angin yang relatif rendah

Karena kecepatan angin di Indonesia yang relatif rendah, maka lebih efisien apabila menggunakan turbin angin jenis vertikal (VAWT) karena dapat bekerja dengan kecepatan yang rendah (2 m/s), jauh lebih rendah dari kecepatan minimum yang dibutuhkan untuk menggerakkan turbin angin jenis horizontal (HAWT).

2. Arah angin yang sering berubah – ubah

Turbin angin jenis horizontal (HAWT) harus selalu menghadap ke arah datangnya angin agar dapat beroperasi dengan maksimal. Sedangkan turbin angin jenis vertikal (VAWT) dapat beroperasi darimanapun arah datangnya angin. Karena karakteristik angin di Indonesia yang selalu berubah-ubah, maka lebih efisien apabila menggunakan turbin angin jenis vertikal (VAWT) dibandingkan dengan turbin angin jenis horizontal (HAWT) yang membutuhkan peralatan tambahan yaitu yaw controller yang cukup rumit untuk mengubah – ubah arah turbin angin.

3. Sering terjadi turbulensi

Untuk daerah dengan karakteristik angin yang sering terjadi turbulensi seperti Indonesia, penggunaan turbin angin jenis vertikal (VAWT) lebih diuntungkan karena tidak akan mengganggu kinerjanya saat terjadi turbulensi. Sedangkan pada turbin angin jenis horizontal (HAWT), turbulensi dapat menyebabkan terjadinya kerusakan (fatigue) pada bilah turbin angin.

2.3. Turbin Angin (Wind Turbine)

2.3.1 Pengertian Turbin Angin

Turbin angin merupakan alat yang dapat mengubah energi angin menjadi energi kinetik yang mana akan digunakan untuk memutar generator dinamakan turbin angin. Tenaga angin mengacu pada seberapa besar energi yang dapat dihasilkan oleh angin, dalam hal ini energi listrik. Pada pemanfaatan tenaga angin secara modern untuk menghasilkan listrik laju angin akan di konversi menjadi rotasi pada turbin yang kemudian akan memutar rotor generator yang terpasang sehingga menghasilkan listrik, listrik ini kemudian akan dinaikan tegangannya oleh transformator untuk selanjutnya ditransmisikan kepada konsumen atau bisa juga digunakan untuk memproduksi listrik suatu rumah atau gedung. Turbin angin sendiri dipasang pada sebuah menara, untuk hasil yang baik, pada penggunaan umum, menara dengan tinggi 30 meter dibutuhkan agar mendapatkan laju angin yang lebih baik serta mengurangi kemungkinan golan angin (wind turbulence).

2.3.2 Cara Kerja Turbin Angin

Energi angin memutar turbin angin. Turbin angin bekerja berkebalikan dengan kipas angin (bukan menggunakan listrik untuk menghasilkan listrik, namun menggunakan angin untuk menghasilkan listrik). Kemudian angin akan memutar sudut turbin, lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator di bagian belakang turbin angin. Generator mengubah energi gerak menjadi energi listrik dengan teori medan elektromagnetik, yaitu poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetik permanen. Setelah itu di sekeliling poros terdapat stator yang bentuk fisisnya adalah kumparan-kumparan kawat yang membentuk loop. Ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya karena terjadi perubahan fluks ini akan dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik untuk akhirnya digunakan oleh masyarakat. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (alternating current) yang memiliki bentuk gelombang kurang lebih sinusoidal. Energi Listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan.

2.3.3 Jenis – Jenis Turbin Angin

a. Turbin Angin Sumbu Horizontal (HAWT)

Turbin angin ini bergerak dengan arah sumbu horizontal, yang mana memiliki sudu yang berputar dalam bidang vertikal layaknya propeler pesawat terbang. Turbin angin biasanya memiliki sudu dengan bentuk

iris melintang khusus dimana aliran udara pada salah satu sisinya dapat bergerak lebih cepat dari aliran udara disisi lain ketika angin melewatinya. Hal ini akan menimbulkan daerah tekanan rendah pada belakang sudu dan daerah tekanan tinggi di depan sudu. Perbedaan tekanan ini membentuk gaya yang menyebabkan sudu berputar.

b. Turbin Angin Sumbu Vertikal (VAWT)

Turbin angin dengan sumbu vertikal bekerja dengan prinsip yang sama halnya kelompok horizontal, namun yang membedakannya ialah sudunya berputar dalam bidang paralel dengan tanah. Setiap jenis turbin angin memiliki ukuran dan efisiensi yang berbeda. Untuk memilih jenis turbin angin yang tepat untuk suatu kegunaan diperlukan tidak hanya sekedar pengetahuan tetapi juga analisis yang tepat. Tipe – tipe turbin angin sumbu vertikal yang biasa digunakan adalah sebagai berikut:

- Darrieus
- Savonius
- Giromill

Pada umumnya turbin angin memiliki jumlah sudu dengan soliditas yang tinggi yang mengakibatkan memiliki torsi yang besar. Sedangkan turbin angin digunakan pada daerah dengan energi angin rendah ialah turbin angin dengan jumlah sudu terbanyak. Sedangkan turbin angin dengan sudu sedikit tidak akan beroperasi secara efisien pada daerah dengan kecepatan angin yang kurang. Dengan melihat keadaan indonesia dengan potensi energi angin yang rendah, yaitu kecepatan angin rata rata kurang dari 4 m/s, maka akan lebih cocok untuk dikembangkan turbin angin seperti savonius.

Kelebihan dan kekurangan dari turbin angin sumbu vertikal adalah sebagai berikut:

1. Kelebihan VAWT

- a. Tidak membutuhkan konstruksi menara yang besar dan tinggi
- b. Tidak membutuhkan mekanisme yaw controller untuk mengubah sudut rotor karena VAWT dapat menerima angin dari segala arah
- c. Memiliki sudut aerofoil yang lebih tinggi, sehingga memberikan keaerodinamisan yang tinggi sehingga dapat mengurangi drag yang terjadi
- d. Memiliki kecepatan awal yang rendah untuk menggerakkan turbin (2 m/s atau 10 km/jam)

- e. Memiliki tip speed ratio yang rendah sehingga dapat meminimalkan kerusakan saat angin kencang

2. Kekurangan VAWT

- a. Memiliki efisiensi yang rendah yaitu hanya 50% dari efisiensi HAWT
- b. Tidak dapat mengambil keuntungan dari angin yang bertiup kencang pada elevasi yang lebih tinggi

2.3.4 Komponen Utama Turbin Angin

Dalam mengkonversi energi kinetik menjadi energi mekanik suatu wind turbine memerlukan beberapa komponen-komponen yang mempunyai fungsi masing-masing. Komponen-komponen tersebut antara lain adalah:

c. Rotor Blade

Rotor Blade atau sudu adalah bagian rotor dari turbin angin. Rotor ini menerima energi kinetik dari angin dan di rubah kedalam energi gerak putar.

d. Gearbox

Gearbox berfungsi mengubah putaran rendah pada kincir menjadi putaran tinggi

e. Brake System

Digunakan untuk menjaga putaran pada poros setelah gearbox agar bekerja pada titik aman saat terdapat angin yang besar. Alat ini perlu dipasang karena generator memiliki titik kerja aman dalam pengoperasiannya. Generator ini akan menghasilkan energi listrik maksimal pada saat bekerja pada titik kerja yang telah ditentukan. Kehadiran angin diluar diguaan akan menyebabkan putaran yang cukup cepat pada poros generator, sehingga jika tidak diatasi maka putaran ini dapat merusak generator. Dampak dari kerusakan akibat putaran berlebih diantaranya : overheat, rotor breakdown, kawat pada generator putus, karena tidak dapat menahan arus yang cukup besar.

f. Generator

Ini adalah salah satu komponen terpenting dalam pembuatan sistem turbin angin. Generator ini dapat mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Prinsip kerjanya dapat dipelajari dengan menggunakan teori medan elektromagnetik. Singkatnya, (mengacu pada salah satu cara kerja generator) poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetik permanen. Setelah itu disekeliling poros terdapat stator yang bentuk fisisnya adalah kumparan-kumparan kawat yang membentuk loop. Ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan fluks pada

stator yang akhirnya karena terjadi perubahan fluks ini akan dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik untuk akhirnya digunakan oleh masyarakat. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (alternating current) yang memiliki bentuk gelombang kurang lebih sinusoidal.

g. Baterai

Karena keterbatasan ketersediaan akan energi angin (tidak sepanjang hari angin akan selalu tersedia) maka ketersediaan listrik pun tidak menentu. Oleh karena itu digunakan alat penyimpan energi yang berfungsi sebagai back-up energi listrik. Ketika beban penggunaan daya listrik masyarakat meningkat atau ketika kecepatan angin suatu daerah sedang menurun, maka kebutuhan permintaan akan daya listrik tidak dapat terpenuhi. Alat untuk menyimpan energi tersebut adalah baterai. Baterai adalah sebuah alat yang dapat merubah energi kimia yang disimpannya menjadi energi Listrik yang dapat digunakan oleh suatu perangkat Elektronik.

h. Tower

Bagian struktur dari turbin angin horizontal yang memiliki fungsi sebagai struktur utama penopang dari komponen system terangkai sudu poros, dan generator.

2.3.5 Konversi Daya Energi Angin

Turbin angin mengambil energi angin dengan menurunkan kecepatannya. Untuk bisa mencapai 100% efisien, maka sebuah turbin angin harus menahan 100% kecepatan angin yang ada, dan rotor harus terbuat dari piringan solid dan tidak berputar sama sekali, yang artinya tidak ada energi kinetik yang akan dikonversi. Energi E (Wh) yang terkandung dalam angin ketika kecepatan angin, v (m/s), dan kerapatan udara, ρ (kg/m³), r (m) rotor tegak lurus melalui wilayah dengan radius lingkaran mengalir dari sebuah turbin angin dengan sumbu horisontal dalam waktu t (s) diberikan oleh rumus:

$$E = \frac{\pi}{2} r^2 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot t \quad (2.1)$$

Menurut ilmu fisika klasik energi kinetik dari sebuah benda dengan massa m dan kecepatan v adalah $E = 0,5 m \cdot v^2$, dengan asumsi bahwa kecepatan v tidak mendekati kecepatan cahaya. Rumus tersebut juga berlaku untuk menghitung energi kinetik yang diakibatkan oleh gerakan angin. Sehingga kita bisa tulis sebagai berikut:

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \quad (2.2)$$

Dengan	E	= Energi	(Joule)
	m	= Massa udara	(Kg)
	v	= Kecepatan angin	(m/s)

Bila suatu blok udara yang mempunyai penampang A (m^2), dan bergerak dengan kecepatan v (m/s), maka jumlah massa yang melewati suatu tempat adalah:

$$m = A v \rho \quad (2.3)$$

Dengan	A	= Energi	(Joule)
	ρ	= Kerapatan udara	(Kg/m ³)
	v	= Kecepatan angin	(m/s)

Dengan melihat persamaan sebelumnya kita bisa menghitung daya (P) yang dihasilkan oleh energi angin sebagai berikut:

$$P = \frac{1}{2} A \rho \eta v^3 \quad (2.4)$$

Dimana:

P	= Daya yang dapat dihasilkan oleh turbin angin
A	= Swept area wind turbine
ρ	= Massa jenis udara
η	= Efisiensi turbin angin
v	= Kecepatan angin

Secara teori, efisiensi maksimum yang bisa dicapai setiap desain turbin angin adalah 59%, artinya energi angin yang bisa diserap hanyalah 59%. Jika faktor-faktor seperti kekuatan dan durabilitas diperhitungkan, maka efisiensi sebenarnya hanya 35 - 45%, bahkan untuk desain terbaik. Terlebih lagi jika ditambah inefisiensi sistem wind turbine lengkap, termasuk generator, bearing, transmisi daya dan sebagainya, hanya 10- 30% energi angin yang bisa dikonversikan ke listrik.

2.4. Panel Surya (Sel surya)

2.4.1. Pengertian Panel Surya

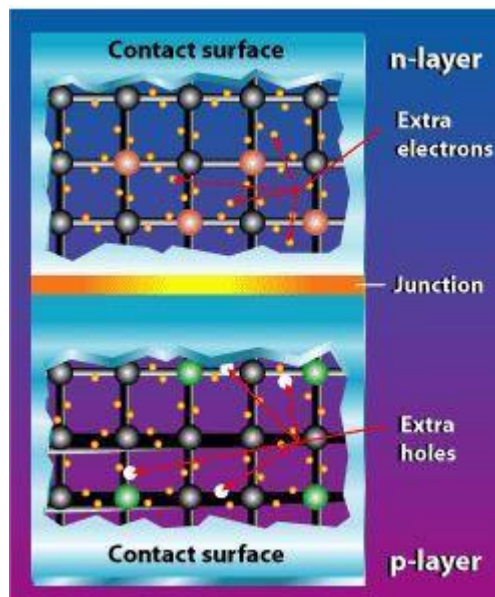
Panel surya merupakan alat yang berfungsi untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Pada panel surya terkandung photovoltaic yang

berfungsi menghasilkan energi listrik dari cahaya yang diterima oleh panel surya. Sel surya merupakan irisan bahan semi konduktor yang memiliki kutub positif dan kutub negatif. Pada sel surya terdapat sambungan antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang memiliki kutub positif (P) dan kutub negatif (N).

2.4.2. Cara Kerja Panel Surya

Cara kerja dari panel surya adalah dengan memanfaatkan prinsip photovoltaic. Efek photovoltaic ini umumnya timbul pada bahan – bahan semikonduktor yang memiliki konduktivitas menengah. Efek photovoltaic ini umunya timbul pada bahan – bahan yang memiliki konduktivitas menengah karena sifat elektron di dalam material yang terpisah dalam pita – pita energi tertentu yang disebut pita konduksi dan pita valensi.

Pada panel surya terdapat dua jenis semikonduktor yang digunakan, yaitu jenis N dan P. Semikonduktor jenis N memiliki kelebihan elektron yang menyebabkan semikonduktor ini bermuatan negatif, sedangkan semikonduktor jenis P memiliki kelebihan hole yang menyebabkan semikonduktor ini bermuatan positif.



Gambar II.1. Komponen panel surya

(Sumber: www.suryautamaputra.co.id)

Ketika semikonduktor jenis N dan semikonduktor jenis P belum dihubungkan oleh P-N junction, semikonduktor jenis N akan tetap bermuatan negatif karena memiliki kelebihan elektron sedangkan semikonduktor jenis P akan tetap bermuatan positif karena memiliki kelebihan hole pada atomnya. Tetapi pada saat kedua jenis semikonduktor ini dihubungkan oleh P-N junction maka akan terjadi perpindahan elektron dari semikonduktor jenis N menuju semikonduktor jenis P, dan perpindahan hole dari semikonduktor P menuju semikonduktor N.

Proses perpindahan (difusi) elektron dari semikonduktor jenis N yang bersatu dengan hole pada semikonduktor jenis P sehingga semikonduktor jenis P yang awalnya bermuatan positif akan menjadi bermuatan negatif. Dan sebaliknya difusi hole dari semikonduktor jenis P menuju semikonduktor jenis N untuk berikatan dengan elektron menyebabkan semikonduktor jenis N yang awalnya bermuatan negatif menjadi bermuatan positif. Daerah negatif dan positif ini dikenal juga dengan sebutan daerah deplesi (depletion region).

Karena pada daerah deplesi terdapat perbedaan muatan positif dan negatif, maka akan timbul medan listrik dengan sendirinya dari sisi positif ke sisi negatif yang mencoba menarik kembali hole ke semikonduktor jenis P dan elektron ke semikonduktor jenis N. Akibat munculnya medan listrik pada P-N junction menyebabkan timbulnya arus drift. Namun arus drift ini terimbangi oleh arus difusi sehingga secara keseluruhan tidak ada arus listrik yang mengalir pada P-N junction tersebut.

Ketika sambungan P-N pada semikonduktor terkena cahaya matahari, maka energi dari cahaya matahari mempengaruhi elektron untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor jenis N maupun daerah deplesi. Elektron yang terlepas ini akan meninggalkan hole pada daerah yang ditinggalkannya yang disebut dengan fotogenerasi electron hole.

2.4.3. Komponen Utama Panel Surya

a. Modul Panel Surya

Modul panel surya adalah komponen utama pada sistem karena berfungsi untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Pada modul panel surya ini terdiri atas beberapa sel surya yang dihubungkan dengan rangkaian seri maupun paralel. Modul panel surya ini menggunakan efek photovoltaic untuk menghasilkan listrik. Listrik yang mampu dihasilkan oleh modul panel surya umumnya adalah 12V dan 24V.

Bagian – bagian utama pada modul panel solar adalah sebagai berikut:

1. Substrat / Metal Backing
2. Material Semikonduktor
3. Kontak Metal / Contact Grid
4. Lapisan Antireflektif
5. Cover Glass

b. Baterai

Baterai (Battery) adalah sebuah alat yang dapat merubah energi kimia yang disimpannya menjadi energi listrik yang dapat digunakan oleh suatu perangkat elektronik maupun motor dengan sumber arus searah. Baterei menyimpan energi dalam bentuk bahan kimia yang dapat bereaksi untuk menyimpan energi ataupun melepas energi. Semakin banyak energi yang disimpan oleh suatu baterei, maka semakin banyak bahan baterei tersebut yang diperlukan.

c. Kontroler

Kontroler merupakan komponen yang berfungsi untuk mengatur proses pengisian baterai. Fungsi utama dari kontroler ini adalah untuk melindungi baterai dari over-discharge (low-voltage disconnect).

d. Inverter

Tegangan yang dihasilkan oleh modul panel surya umumnya adalah 12V atau 24V. Sehingga untuk kebutuhan sehari – hari pada peralatan – peralatan listrik yang memiliki tegangan 220V dibutuhkan suatu inverter. Inverter berfungsi untuk mengubah arus DC tegangan rendah menjadi arus Ac dengan tegangan yang lebih tinggi.

2.4.4. Jenis – Jenis Panel Surya

a. Crystalline

- Monocrystalline

Panel surya jenis monocrystalline merupakan panel surya yang sering digunakan secara umum di masyarakat. Panel surya jenis ini terbuat dari batangan kristal silikon murni sehingga dihasilkan kepingan sel surya yang identik satu dengan lainnya yang menghasilkan kinerja yang tinggi. Panel surya jenis ini merupakan jenis panel surya yang memiliki efisiensi paling tinggi yaitu sebesar 15% - 20%. Kelemahan dari panel surya jenis ini adalah harganya yang cukup mahal dibandingkan dengan panel surya jenis lain.

- Polycrystalline

Panel surya jenis polycrystalline merupakan jenis panel surya yang juga sering digunakan secara umum di masyarakat. Berbeda dengan panel surya jenis monocrystalline, panel surya jenis polycrystalline terbuat dari batangan kristal silikon yang dilebur kemudian dicetak dalam suatu cetakan. Karena proses pembuatannya melalui proses peleburan, maka kemurnian kristal silikonnya tidak seperti panel surya jenis monocrystalline sehingga panel surya yang dihasilkan tidak identik satu dengan lainnya. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi sebesar 13% - 16%. Kelebihan dari panel surya jenis ini adalah proses pembuatannya yang lebih mudah sehingga harganya lebih murah.

b. Thin Film Sel surya

- Amorphous Silicon (a-Si)

Sel surya jenis amorphous silicone (a-Si) ini memiliki efisiensi yang rendah yaitu hanya sebesar 6% - 8%. Sel surya jenis ini umumnya banyak digunakan sebagai sumber energi pada jam tangan dan kalkulator.

- Cadmium Telluride (CdTe)

Sel surya jenis ini memiliki efisiensi sebesar 9% - 11%. Kelemahan dari sel surya ini adalah penggunaan Cadmium yang berbahaya.

- Copper Indium Gallium Selenide (CIGS)

Sel surya jenis ini memiliki efisiensi paling besar dari antara semua sel surya jenis thin film yaitu sebesar 10% - 12%. Sel surya jenis ini juga tidak menggunakan bahan berbahaya seperti Cadmium pada sel surya jenis Cadmium Telluride (CdTe).

2.5. Generator

2.5.1. Pengertian Generator

Generator merupakan alat yang digunakan untuk pembangkit listrik dengan cara mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik. Tenaga mekanis disini digunakan untuk memutar kumparan kawat penghantar dalam medan magnet ataupun sebaliknya memutar magnet diantara kumparan kawat penghantar. Prinsip kerja generator berdasarkan Hukum Faraday tentang induksi elektromagnetik yaitu bila suatu konduktor digerakkan dalam medan magnet, maka akan membangkitkan gaya gerak listrik. Hukum Faraday mengenai induksi elektromagnetik adalah fenomena dasar yang diterapkan pada generator. Hukum

Faraday menyebutkan jika terjadi perubahan garis gaya magnet pada sebuah kumparan kawat, maka akan timbul gaya gerak listrik (GGL) pada kawat tersebut. Jika kumparan kawat dihubungkan dengan rangkaian listrik tertutup, maka akan timbul pula arus listrik yang mengalir pada rangkaian.



Gambar II.2. Kaidah tangan kanan

(Sumber: www.rumushitung.com)

Kaidah tangan kanan Fleming adalah sebuah metode untuk memudahkan kita menentukan arah vektor dari ketiga komponen hukum Faraday, yakni arah gaya gerak kumparan kawat, arah medan magnet, serta arah arus listrik. Posisi jari tangan kanan seperti pada gambar di atas, maka ibu jari akan menunjukkan arah gaya (torsi), jari telunjuk menunjukkan arah medan magnet, dan jari tengah menunjukkan arah arus listrik.

2.5.2. Prinsip Kerja Generator

Prinsip kerja generator adalah sebagai berikut:

1. Motor memberikan energi mekanik yang didapatkan olehnya melalui sumber listrik AC, ke generator yang kemudian diterima oleh rotor. Rotor di dalam generator pun bergerak.
2. Regulator yang memiliki arus AC melewati rectifier terlebih dahulu agar arus yang dimiliki diubah terlebih dahulu menjadi arus DC. Tujuan diubah seperti itu adalah agar arus tersebut dapat mengaktifkan arus medan magnet yang ada pada generator (fero magnet).
3. Pada generator, terjadi putaran rotor yang kemudian memotong garis-garis medan magnet yang terjadi pada stator, sehingga terbentuk gaya gerak listrik, yang kemudian listrik tersebutlah yang disalurkan ke output.

2.5.3. Komponen Utama Generator

a. Bagian Yang Diam (Stator)

Bagian diam (stator), terdiri dari beberapa bagian yaitu:

1. Inti stator

Bentuk dari inti stator berupa cincin laminasi-laminasi yang diikat serapat mungkin untuk menghindari rugi-rugi arus eddy. Pada inti ini terdapat slot-slot untuk menempatkan konduktor untuk mengatur arus medan magnet.

2. Belitan stator

Bagian stator yang terdiri dari beberapa batang konduktor yang terdapat di dalam slot dan ujung-ujung kumparan. Masing-masing slot dihubungkan untuk mendapat tegangan induksi.

3. Alur stator

Bagian stator yang berperan sebagai tempat belitan stator ditempatkan.

4. Rumah stator

Umumnya terbuat dari besi tuang yang berbentuk silinder. Bagian belakang rumah stator biasanya memiliki sirip sebagai alat bantu dalam proses pendinginan.

b. Bagian Yang Bergerak (Rotor)

Antara rotor dan stator dipisahkan oleh celah udara. Rotor terdiri dari dua bagian umum, yaitu:

1. Inti kutub

Pada bagian inti kutub terdapat poros dari inti rotor yang memiliki fungsi sebagai jalan atau jalur fluks magnet yang dibangkitkan oleh kumparan medan.

2. Kumparan medan

Pada bagian inti kutub terdapat poros dan inti rotor yang memiliki fungsi sebagai jalur fluks magnet yang dibangkitkan oleh kumparan medan. Pada kumparan medan ini juga terdapat dua bagian yaitu penghantar sebagai jalur untuk arus pemacuan dan bagian yang diisolasi. Isolasi pada bagian ini harus benar-benar baik dalam hal kekuatan mekanis, ketahanan akan suhu tinggi, dan ketahanannya terhadap gaya sentrifugal yang besar.

c. Exciter Field

Yang terdiri dari Rotor dan Stator adalah komponen yang menghasilkan energi listrik untuk Main Stator, dengan kata lain Exciter Field adalah pembangkit energi listrik untuk Main Rotor, karena besaran medan magnet

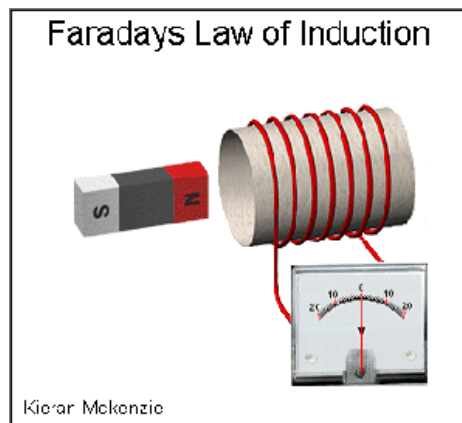
yang terjadi didalam Main Rotor dipengaruhi dari tegangan yang diberikan oleh Exciter Field.

d. AVR (Automatic Voltage Regulator)

Berfungsi menstabilkan tegangan listrik yang dihasilkan oleh Exciter Field, sehingga tegangan listrik yang dikeluarkan oleh Generator tetap terjaga dikisaran 400/240 VAC.

2.5.4. Induksi Elektromagnet

Induksi elektromagnet terjadi apabila sebuah penghantar (2) bergerak melintas garis-garis gaya magnet, maka pada penghantar tersebut akan mengalir arus listrik, apabila dipasang sebuah galvanometer (1) dan penghantar digerakan maju-mundur diantara kutub utara dan kutub selatan magnet, maka jarum galvanometer akan bergerak. Fenomena ini menyimpulkan bahwa, arah gerakan jarum galvanometer akan bervariasi mengikuti arah gerakan penghantar atau magnet dan besarnya gerakan jarum galvanometer akan semakin besar sebanding dengan kecepatan gerakan. Penghantar dilewatkan melalui garis gaya magnet, maka dalam penghantar akan terbangkit gaya gerak listrik. Peristiwa ini disebut dengan induksi elektromagnet dan mengubahnya menjadi tenaga listrik.



Gambar II.3. Induksi elektromagnetik

(Sumber: www.warahadie.com)

2.5.5. Gaya Gerak Listrik

Arah gaya gerak listrik yang terbangkit di dalam penghantar diantara medan magnet bervariasi mengikuti perubahan arah garis gaya magnet dan gerakan penghantar. Arah garis gaya magnet dapat dipahami dengan menggunakan hukum tangan kanan Fleming (Fleming's Right-Hand Rule), dalam kaidah ini

digunakan ibu jari, jari telunjuk dan jari tengah tangan kanan dibuka dengan sudut yang tepat satu sama lain. Jari telunjuk (1) akan menunjukkan arah gerakan penghantar dan jari tengah (2) menunjukkan arah gaya gerak listrik.



Gambar II.4. Kaidah tangan kanan

(Sumber: www.rumushitung.com)

Besarnya gaya gerak listrik yang dibangkitkan pada saat penghantar memotong garis gaya magnet diantara medan magnet sebanding dengan banyaknya garis gaya magnet yang dipotong pada suatu satuan waktu dan gaya gerak listrik dalam satuan volt.

2.6. Baterai

2.6.1. Pengertian Baterai

Baterai (Battery) adalah sebuah alat yang dapat merubah energi kimia yang disimpannya menjadi energi listrik yang dapat digunakan oleh suatu perangkat elektronik maupun motor dengan sumber arus searah. Baterai menyimpan energi dalam bentuk bahan kimia yang dapat bereaksi untuk menyimpan energi ataupun melepas energi. Semakin banyak energi yang disimpan oleh suatu baterai, maka semakin banyak bahan baterai tersebut yang diperlukan. Setiap teknologi baterai mempunyai perbandingan tertentu antara massa baterai dan energi yang dapat disimpan. Parameter ini namanya adalah kepadatan energi atau energy density.

2.6.2. Metode Pengisian Baterai

Metode pengisian baterai ada 3 yaitu:

- a. Pengisian perawatan (maintenance charging) digunakan untuk mengimbangi kehilangan isi (self discharge), dilakukan dengan arus rendah sebesar 1/1000 dari kapasitas baterai. Ini biasa dilakukan pada baterai tak terpakai untuk melawan proses penyulfatan. Bila baterai memiliki kapasitas 45 Ah maka besarnya arus pengisian perawatan adalah 45 mA (miliAmpere).
- b. Pengisian lambat (slow charging) adalah suatu pengisian yang lebih normal. Arus pengisian harus sebesar 1/10 dari kapasitas baterai. Bila baterai memiliki kapasitas 45 Ah maka besarnya arus pengisian lambat adalah 4,5 A. Waktu pengisian ini bergantung pada kapasitas baterai, keadaan baterai pada permulaan pengisian, dan besarnya arus pengisian. Pengisian harus sampai gasnya mulai menguap dan berat jenis elektrolit tidak bertambah walaupun pengisian terus dilakukan sampai 2 - 3 jam kemudian.
- c. Pengisian cepat (fast charging) dilakukan pada arus yang besar yaitu mencapai 60 - 100 A pada waktu yang singkat kira-kira 1 jam dimana baterai akan terisi sebesar tiga per empatnya. Fungsi pengisian cepat adalah memberikan baterai suatu pengisian yang memungkinkannya dapat menstarter motor yang selanjutnya generator memberikan pengisian ke baterai.

2.6.3. Perhitungan Kebutuhan Baterai

Untuk menghitung pemenuhan kapasitas baterai, dapat menggunakan formula sebagai berikut:

$$nQ = \frac{Q_{tot}}{Q_{batt}}$$

Untuk menghitung pemenuhan tegangan, dapat menggunakan formula sebagai berikut:

$$n = \frac{V_{charger}}{V_{batt}}$$

Untuk menghitung total kebutuhan baterai, dapat menggunakan formula sebagai berikut:

$$n = nQ \times nV$$

Untuk menghitung lama pengisian baterai, dapat menggunakan formula sebagai berikut:

$$t = \frac{Q_{batt} \times V_{batt}}{P2}$$

2.7. Pembebanan pada Kapal Perintis 2000GT

2.7.1. Lampu – Lampu

- a. Lampu Navigasi 24 V
 - Lampu tiang agung (masthead)
 - Lampu lambung (side light)
 - Lampu buritan (stern light)
- b. Lampu Penerangan 220 V
 - Ruang kemudi
 - Kamar tidur
 - Gangway
 - Dapur
 - Mess Room
 - Ruang Mesin
 - Ruang Generator

2.8. Tahanan Kapal

Tahanan kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal yang berlawanan dengan arah gerakan kapal. Hambatan tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal (Harvald, 1983). Hambatan kapal ini nantinya akan diatasi oleh gaya dorong yang dihasilkan oleh sistem propulsi kapal sehingga kapal dapat bergerak dengan kecepatan yang telah direncanakan. Hambatan kapal merupakan fungsi dari angka Froude Number (Fn). Menurut Holtrop & Mennen, hambatan total kapal dibagi menjadi 2 komponen hambatan yaitu:

1. Hambatan Kekentalan (Viscous Resistance)
2. Hambatan Gelombang (Wave Resistance)

Untuk menghitung kedua komponen hambatan tersebut dijelaskan dalam buku Principle of Naval Architecture – Resistance, Propulsion and Vibration, Edward V. Lewis, SNAME yaitu sebagai berikut:

$$R_{tot} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot Stot \cdot [CF (1 + k1) + CA] + \frac{RW}{W}$$

2.9. Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal merupakan kemampuan kapal untuk mempertahankan posisinya saat terjadi guncangan di air. Kapal yang memiliki stabilitas yang baik akan dapat mengatasi guncangan dengan baik dan tetap memberikan kenyamanan kepada

penumpang, sedangkan kapal yang tidak memiliki stabilitas yang baik akan dapat menyebabkan ketidaknyamanan kepada penumpang bahkan dapat menyebabkan kapal tenggelam. Stabilitas kapal menjadi hal yang penting dalam merancang sebuah kapal penumpang karena kenyamanan dan keselamatan awak kapal dan penumpang merupakan prioritas kapal tersebut dibangun.

Kondisi stabilitas kapal dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu stabilitas statis dan stabilitas dinamis. Stabilitas statis merupakan stabilitas kapal yang diukur saat kondisi air tenang dengan beberapa sudut keolengan pada nilai ton displacement yang berbeda. Nilai stabilitas statis kapal ditunjukkan oleh nilai lengan penegak (GZ). Stabilitas dinamis adalah stabilitas kapal yang diukur dengan cara memberikan gaya pada kapal sehingga membentuk sudut keolengan tertentu. Titik – titik penting yang menentukan keseimbangan kapal adalah sebagai berikut:

1. Titik Berat (G)

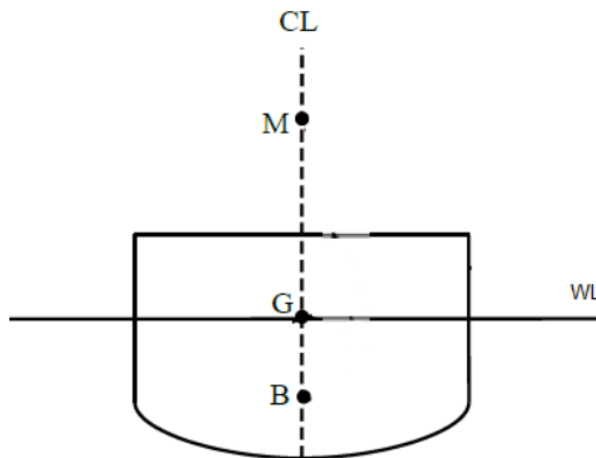
Titik berat (Centre of Gravity) (G) merupakan titik pusat dari gaya – gaya berat yang menekan tegak lurus ke bawah. Letak titik berat kapal selalu berada pada tempatnya, yaitu pada sebuah bidang datar yang dibentuk oleh lunas (keel) dan haluan kapal (Yuli, 2015). Letak titik berat kapal akan berubah apabila terdapat penambahan, pengurangan, maupun penggeseran muatan di kapal.

2. Titik Apung (B)

Titik Apung (Centre of Buoyancy) (B) merupakan titik tangkap dari semua gaya yang menekan tegak lurus ke atas, dimana gaya – gaya tersebut berasal dari air (Yuli, 2014). Posisi dari titik apung ini bergantung pada bentuk badan kapal yang tercelup ke dalam air.

3. Titik Metacentre (M)

Titik Metacentre (M) merupakan titik yang tercipta karena terjadinya perpotongan gaya yang melalui titik B pada waktu kapal tegak dan pada waktu kapal miring. Titik M didefinisikan juga sebagai sebuah titik batas dimana titik G tidak melewatinya agar kapal selalu berada pada stabilitas yang positif (Yuli, 2014).

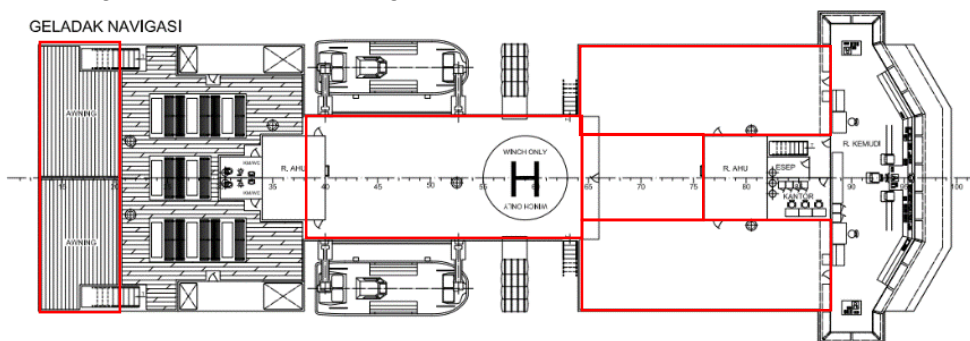


Gambar II.5. Titik berat kapal

(Sumber: www.maritimeworld.web.id)

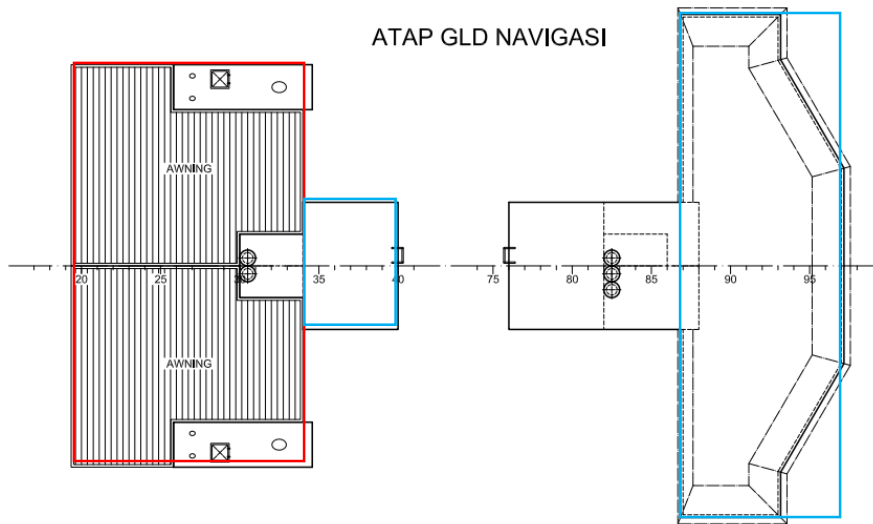
2.10. Hipotesa Awal

Berdasarkan rumusan masalah dan tinjauan pustaka yang telah diungkapkan di atas, maka dapat diambil hipotesa awal bahwa penggunaan panel surya dan turbin angin pada kapal perintis 2000 GT sebagai sumber energi listrik untuk memenuhi kebutuhan lampu penerangan dapat menghemat biaya operasional kapal dan mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan bahan bakar fosil di kapal perintis 2000 GT. Sebagai hipotesa awal konfigurasi peletakan panel surya dan turbin angin pada kapal perintis 2000 GT jenis roro ferry yang direncanakan akan digunakan pada usulan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:



Gambar II.6. Geladak navigasi

(Sumber: Buku Spesifikasi Teknis Kapal Perintis 2000 GT, 2015)



Gambar II.7. Atap geladak navigasi

(Sumber: Buku Spesifikasi Teknis Kapal Perintis 2000 GT, 2015)

Pada hipotesa awal konfigurasi peletakan panel surya dan turbin angin yang dapat saya simpulkan adalah sesuai dengan gambar di atas. Pada kotak berwarna merah akan ditempatkan panel surya berjenis crystalline dan pada kotak berwarna biru akan ditempatkan turbin angin berjenis vertical axis wind turbine. Dengan melihat gambar rencana umum dari kapal ro-ro ferry 2000 GT di atas, maka dapat diambil hipotesa awal bahwa optimasi pemilihan panel surya dan turbin angin yang dapat digunakan dilakukan berdasarkan luasan area yang memungkinkan untuk dilakukan instalasi panel surya dan turbin anginnya

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tahapan Pelaksanaan Tugas Akhir

Dalam karya ilmiah yang baik perlu memiliki metodologi yang terperinci dengan sumber informasi yang sebanyak-banyaknya. Untuk mencapai hasil yang diinginkan, maka dalam pengerjaan Tugas Akhir ini diperlukan kerangka pengerjaan yang tersrtuktur. Metode yang akan digunakan untuk menyelesaikan masalah diatas digunakan metode perhitungan dan analisa. Dimana dalam perhitungan yang dilakukan yaitu pemilihan total semua beban yang ada.

Dalam perencanaan eksperimen ini menggunakan tahapan-tahapan pengerjaan sebagai berikut :

1. Perumusan Masalah

Tahapan awal yang dilakukan dalam penyelesaian tugas akhir adalah mengidentifikasi masalah yang ada untuk kemudian akan dicari penyelesaiannya pada pengerjaan Tugas Akhir ini.

2. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pendalaman lebih lanjut untuk memahami teori – teori yang diperoleh dari beberapa literatur, buku, serta jurnal mengenai pembebanan pada kapal perintis 2000 GT dan operasional kapal perintis 2000 GT.

3. Pengumpulan Data

Pada tahap ini akan dilakukan pengambilan data berupa data kapal perintis 2000 GT yang telah dirancang beserta keseluruhan peralatan dalam kapal.

4. Analisa Teknis

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan potensi energi surya dan potensi energi angin yang mampu dihasilkan oleh panel surya dan turbin angin. Kemudian dilakukan pemilihan jumlah panel surya dan turbin angin yang dapat digunakan dengan menggunakan metode optimasi. Setelah hasil pemilihan yang paling optimum diperoleh, dilakukan konfigurasi ulang sistem kelistrikan di kapal, analisa terhadap tahanan kapal, penurunan kecepatan kapal, dan stabilitas kapal.

5. Analisa Ekonomis

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan terhadap pengurangan payload kapal akibat pemasangan panel surya dan turbin angin, perhitungan peghematan bahan bakar generator, dan analisa titik keseimbangan break even point (BEP) dan potensi keuntungannya.

6. Analisa dan Pembahasan

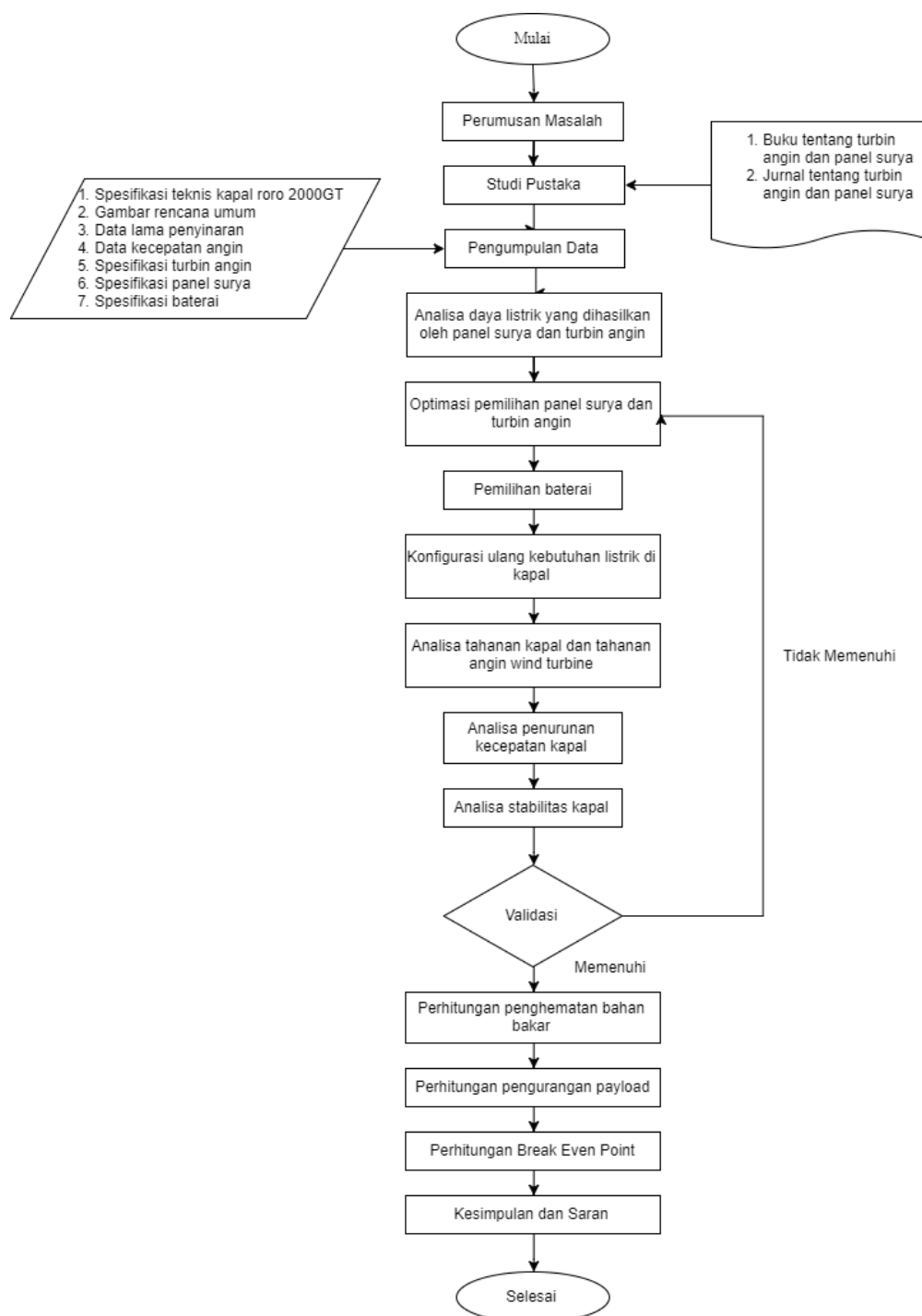
Pada tahap ini akan dilakukan analisa dan pembahasan terhadap kelayakan turbin angin dan panel surya apakah akan mampu memenuhi kebutuhan lampu penerangan di kapal selama beroperasi, menganalisis berat kapal terhadap ruang muat, dan menganalisis keuntungan atau penghematan dari penggunaan turbin angin dan panel surya di kapal perintis 2000 GT.

7. Kesimpulan dan Saran

Setelah melakukan analisis terhadap kelayakan turbin angin dan panel surya sebagai sumber energi listrik untuk lampu penerangan di kapal, maka dapat ditarik kesimpulan dari hasil penelitian serta saran bagi penelitian yang telah dilakukan.

8. Penyusunan Laporan

Pada tahap ini akan dilakukan penyusunan laporan sesuai dengan aturan penulisan yang baik dan benar.



Gambar III.1 Diagram alir penelitian

(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain, 2017)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

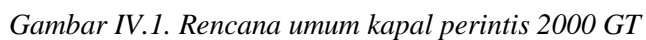
ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Kapal Perintis 2000 GT

Dalam pengerjaan skripsi ini membutuhkan data kapal yang dijadikan sebagai objek penelitian. Kapal yang digunakan sebagai objek penelitian dalam skripsi ini berjenis Roro Ferry penyebrangan kelas 2000 GT untuk digunakan dalam lintas penyebrangan di perairan Indonesia, khususnya lintas Laut Jawa Lamongan (Paciran) – Bahaur. Ukuran utama kapal kapal tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel IV.1. Data utama kapal

Panjang Keseluruhan	(Loa)	:	80,22	m
Panjang Antara Garis Tegak	(Lpp)	:	72,00	m
Lebar	(Bmld)	:	15,20	m
Tinggi	(Hmld)	:	5,10	m
Sarat Air	T	:	3,60	m
Gross Tonnage	(GT)	:	Abt 2300	GT
Kecepatan Percobaan	(Vt)	:	17,00	Knot
Kecepatan Dinas	(Vs)	:	15,00	Knot
Tenaga Penggerak Utama (Marine Diesel Engine)	Jumlah Daya Min RPM Maksimum Sistem Pelumasan	: : : :	2 (Dua) @ 2600 800 Dry Circulation	HP
Rasio Roda Gigi (Gear Ratio)		:	Sesuai optimasi propeller	
Tenaga Mesin Bantu (Marine Auxialiary Engine)	Jumlah Daya Min	: :	2 (Dua) @ 700/560	kVA/kW
Generator Poros (Shaft Generator Set)	Jumlah Daya Min	: :	2 (Dua) @ 375/300	kVA/kW
Tenaga Bow Thruster	Jumlah Daya Min Propeller	: : :	1 (Satu) @ 64/425 CPP	N/kW
Kelas Klasifikasi	BKI	:	+A 100 P “Kapal Penyebrangan” +SM	



(Sumber: Buku Spesifikasi Teknis Kapal Perintis 2000 GT, 2015)

4.2 Analisa Beban Lampu Penerangan

Beban lampu penerangan merupakan total kebutuhan daya yang dibutuhkan oleh Kapal Perintis 2000 GT untuk menerangi kapal. Beban lampu penerangan ini terdiri atas lampu penerangan pada setiap ruangan di deck, beban pada stop kontak, dan juga lampu navigasi. Sesuai dengan data spesifikasi teknis yang dimiliki oleh kapal ini, lampu penerangan yang digunakan berjenis LED dengan tingkat kecerahan dalam satuan lux sebagai berikut:

a. Lampu Penerangan Kompartemen Lambung

1. Ruang Mesin Kemudi	: 200 Lux
2. Ruang Power Pack	: 200 Lux
3. Ruang Mesin Bantu	: 300 Lux
4. Ruang Kontrol Kamar Mesin	: 500 Lux
5. Ruang Mesin Induk	: 300 Lux
6. Area Bengkel di Ruang Mesin Induk	: 500 Lux
7. Ruang Palka Sedan Saat Pelayaran	: 30 Lux
8. Ruang Palka Sedan Saat Bongkar Muat	: 300 Lux
9. Ruang Kosong	: 80 Lux
10. Ruang Gang / Tangga	: 100 Lux
11. Ruang Bow Thruster	: 200 Lux

b. Lampu Penerangan Geladak Kendaraan

1. Ruang Tangki CO2 (PS)	: 200 Lux
2. Ruang Hidrofor Sprinkler & Pompa Darurat	: 200 Lux
3. Gudang – gudang	: 100 Lux
4. Gang & Tangga Akomodasi	: 80 Lux
5. Kamar ABK secara umum	: 150 Lux
6. Kamar ABK kondisi tidur	: 30 Lux
7. Kamar ABK meja kerja	: 500 Lux
8. KM/WC secara umum	: 150 Lux
9. KM/WC daerah basin & toilet	: 200 Lux
10. Ruang Generator Darurat	: 200 Lux
11. Ruang Kendaraan saat pelayaran	: 30 Lux
12. Ruang Kendarran saat bongkar muat	: 300 Lux

c. Lampu Penerangan Geladak Penumpang 01

1. Geladak Mesin Buritan	: 200 Lux
--------------------------	-----------

2. Panel Kendali Mesin Geladak : 200 Lux
Haluan / Buritan
3. Ruang Duduk Terbuka Buritan : 100 Lux
4. Gang Terbuka & Tangga : 100 Lux
5. Mushola : 150 Lux
6. KM/WC secara umum : 150 Lux
7. KM/WC daerah basin & toilet : 200 Lux
8. Gang & Koridor R. Penumpang : 150 Lux
Ekonomi
9. Area Tempat Tidur secara umum : 150 Lux
10. Area Tempat Tidur saat tidur : 30 Lux
11. Lobi & Tangga Akomodasi : 150 Lux
12. R. Informasi : 150 Lux
13. Mesin Geladak Haluan : 200 Lux
14. Depan Pintu – Pintu Rampa : 300 Lux

d. Lampu Penerangan Geladak Penumpang 02

1. Teras Buritan, Samping, : 100 Lux
Haluan & Ruang Terbuka
2. Geladak Sekoci : 200 Lux
3. Restoran secara umum : 150 Lux
4. Restoran saat hiburan : 30 Lux
5. Meja Bar : 300 Lux
6. Panggung saat hiburan : 6 set Lampu
Sorot (tipe PAR)
100 W dengan
kaca pelindung
dan filter warna,
dipasang di
langit – langit
dan 2 moving
head spot light
kapasitas 250 W
7. Panggung secara umum : 300 Lux
8. Dapur : 500 Lux
9. Meja Kompor & Potong : 750 Lux
10. Gang & Koridor : 150 Lux

11. Kamar Penumpang Kelas, : 150 Lux
Klinik, ABK & Perwira
secara umum
12. Kamar Penumpang Kelas, : 30 Lux
Klinik, ABK & Perwira saat
tidur
13. Kamar Penumpang Kelas, : 500 Lux
Klinik, ABK & Perwira di
Meja Kerja
14. KM/WC secara umum : 150 Lux
15. KM/WC daerah basin & : 200 Lux
toilet
16. Mess ABK secara umum : 300 Lux
17. Mess ABK saat istirahat : 30 Lux
18. Ruang Binatu & Gudang : 300 Lux
Makanan

e. Lampu Penerangan Geladak Navigasi

1. Ruang Kemudi Secara Umum : 300 Lux
2. Ruang Kemudi Meja Peta : 500 Lux
3. Ruang Kemudi Saat Malam di : 30 Lux
daerah koridor & pintu
4. Ruang ESEP : 200 Lux
5. Tangga dan Koridor : 150 Lux
6. Kantor Secara Umum : 200 Lux
7. Kantor Meja Kerja : 500 Lux
8. Ruang AHU : 200 Lux
9. Ruang Duduk Terbuka : 150 Lux

f. Lampu Navigasi

1. Lampu Sorot (Search Light) : 2 x 2000
W
2. Lampu Morse (Sinal) di Tiang : 1 x 300 W
Radar
3. Lampu NUC (Red Light) di Tiang : 4 x 100 W
Radar
4. Lampu RM (White Light) di Tiang : 2 x 100 W
Radar
5. Lampu Jangkar (Anchor Light) di : 1 x 100 W
Tiang Radar

6. Lampu Tiang Utama di Tiang : 1 x 100 W
Haluan (Forward Mast Head)
7. Lampu Tiang Utama di Tiang : 1 x 100 W
Buritan (Stern Mast Head)
8. Lampu Samping Kiri (PS) Warna : 1 x 100 W
Merah
9. Lampu Samping Kanan (SB) : 1 x 100 W
Warna Hijau
10. Lampu Tiang Buritan (Stern Light) : 1 x 100 W
di Tiang Bendera Buritan

Berdasarkan data kecerahan lampu diatas kita dapat melakukan perhitungan terhadap jumlah lampu yang dibutuhkan, total daya yang dibutuhkan dan jumlah daya pada top kontak. Pada kompartemen lambung total beban penerangan adalah sebesar 5,747 kW, pada geladak kendaraan total beban penerangan adalah sebesar 4,388 kW, pada geladak penumpang 01 total beban penerangan adalah sebesar 9,221 kW, pada geladak penumpang 02 total beban penerangan adalah sebesar 30,48 kW, pada geladak navigasi total beban penerangan adalah sebesar 4,643 kW, dan total lampu navigasi adalah sebesar 5,5 kW. Sehingga total beban penerangan pada kapal perintis 2000 GT yang dijadikan objek penelitian adalah sebesar 59,977 kW.

4.3 Analisa Lama Penyinaran dan Kecepatan Angin

Untuk mengetahui total daya rata-rata yang mampu dihasilkan oleh panel surya setiap harinya setelah dilakukan optimasi pemilihan panel surya, perlu dilakukan perhitungan lamanya waktu penyinaran dalam rute pelayaran kapal perintis 2000 GT ini. Data hasil perhitungan ini digunakan dalam pemilihan baterai agar mampu menampung seluruh daya yang dihasilkan oleh panel surya. Untuk rute dari Lamongan (Paciran) menuju Bahaur yang melewati Laut Jawa kita dapat memperoleh data dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang diukur dari Stasiun Meteorologi Sangkapura (WMO ID 96925). Data lamanya waktu penyinaran ini diambil dalam jangka waktu 12 bulan terakhir yang dapat dilihat pada tabel IV.2 di bawah ini.

Tabel IV.2. Data lama waktu penyinaran

No	Bulan	Lama Penyinaran (Jam)
1.	Oktober	3,36
2.	November	4,95
3.	Desember	2,22

No	Bulan	Lama Penyinaran (Jam)
4.	Januari	4,09
5.	Februari	3,37
6.	Maret	5,32
7.	April	6,56
8.	Mei	6,31
9.	Juni	6,12
10.	Juli	6,45
11.	Agustus	8,78
12.	September	8,67
13.	Oktober	8,24
Lama Penyinaran Rata-Rata (Jam)		5,73

Dan untuk mengetahui total daya rata-rata yang mampu dihasilkan oleh turbin angin setiap harinya setelah dilakukan optimasi pemilihan turbin angin, perlu dilakukan perhitungan kecepatan angin rata – rata dalam rute pelayaran kapal perintis 2000 GT ini. Data hasil perhitungan ini digunakan dalam pemilihan baterai agar mampu menampung seluruh daya yang dihasilkan oleh turbin angin. Untuk rute dari Lamongan (Paciran) menuju Bahaur yang melewati Laut Jawa kita dapat memperoleh data dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang diukur dari Stasiun Meteorologi Sangkapura (WMO ID 96925). Data kecepatan angin rata-rata ini diambil dalam jangka waktu 12 bulan terakhir yang dapat dilihat pada tabel IV.3 di bawah ini.

Tabel IV.3. Data kecepatan angin rata-rata

No	Bulan	Kecepatan Angin (Knot)
1	Oktober	3,50
2	November	3,53
3	Desember	5,74
4	Januari	5,77
5	Februari	5,64
6	Maret	4,57
7	April	3,77
8	Mei	4,86
9	Juni	5,30

No	Bulan	Kecepatan Angin (Knot)
10	Juli	5,58
11	Agustus	5,55
12	September	5,67
13	Oktober	4,14
Kecepatan Angin Rata-Rata (Jam)		4,89

Untuk pengukuran kecepatan angin sesuai dengan prosedur dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, pengukuran dilakukan pada ketinggian 10 meter di atas permukaan laut. Pada pengoperasiannya di kapal, ketinggian kerja dari turbin angin pada kapal perintis 2000 GT ini adalah 20 meter di atas sarat air saat muatan penuh. Secara teoritis, semakin meningkat ketinggian, semakin tinggi jua kecepatan angin yang bekerja. Untuk menghitung kecepatan angin pada ketinggian tertentu ini, metode pendekatan yang paling baik untuk digunakan adalah metode Hellmann Exponential Law.

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{H}{H_0} \right)^\alpha$$

Dimana: v : Kecepatan angin pada ketinggian tertentu
 v_0 : Kecepatan angin pada ketinggian pengukuran
 H : Ketinggian
 H_0 : Ketinggian pengukuran
 α : Koefisien gesekan atau Hellman exponent

Tabel IV.4. Hellman exponent

Landscape type	Fricion Coefficient (α)
Lakes, ocean and smooth hard ground	0,10
Grassland (ground level)	0,15
Tall crops, hedges and shrubs	0,20
Heavily forested land	0,25
Small town with some trees and shrubs	0,30
Cty areas with high rise buildings	0,40

Maka diperoleh kecepatan angin pada ketinggian 18 meter di atas permukaan laut adalah sebesar 5,19 knot atau 2,67 m/s. Turbin angin yang dioperasikan di kapal perintis

2000 GT ini juga akan mendapatkan tambahan kecepatan yang diakibatkan oleh pergerakan kapal. Sehingga kecepatan angin yang bekerja pada turbin angin merupakan resultan dari kecepatan kapal dan kecepatan angin yaitu sebesar 15,90 knot atau 8,175 m/s.

4.4 Analisa Ketersediaan Energi Surya

Pada tahap analisa potensi ketersediaan energi surya ini dilakukan perhitungan luasan area di kapal perintis 2000 GT ini yang dapat dimanfaatkan sebagai tempat untuk mengaplikasikan dan peletakan panel surya. Dari hasil pengukuran, terdapat 3 daerah yang dapat dijadikan sebagai tempat peletakan panel surya yaitu pada navigation deck dengan luas area sebesar 184,3195 m², awning navigation deck dengan luas area sebesar 63,6646 m², dan awning top deck dengan luas area sebesar 111,1365 m². Pada analisa potensi ketersediaan energi surya ini, dipilih 3 spesifikasi panel surya yang berbeda untuk dilakukan analisa dari segi jumlah, total daya, total berat, daya per luasan, dan total harga. Data spesifikasi panel surya yang dianalisa tertera pada tabel IV.5 berikut ini.

Tabel IV.5. Spesifikasi panel surya

Merk		Sun Power	Canadian Solar	Sun Power
Model		E20-435-COM	320P-FG	X21-345-COM
Nominal Power	(W)	435	320	345
Power Tolerance	(%)	+/- 5	+/- 5	+/- 5
Efficiency	(%)	20,3	16,39	21,5
Rated Voltage	(V)	72,9	36,8	57,3
Rated Current	(A)	5,97	8,69	6,02
Weight	(Kg)	25,4	27,5	18,6
Price	(USD)	420	230	448
	(IDR)	5675675,7	3108108,1	6054054
Dimension	(mm)	1046 x 2067 x 46	992 x 1968 x 58	1046 x 1559 x 46

Dari data spesifikasi tersebut, dilakukan analisa terhadap total daya, perbandingan daya dengan luasan, total berat, jumlah panel surya dan total harga sebagai acuan untuk melakukan optimasi di langkah penelitian berikutnya. Tabel hasil analisa tersebut dapat dilihat pada tabel 6 di bawah ini.

Tabel IV.6 Analisa perhitungan panel surya

Merk	Model	Daya	Daya / Luasan	Total Berat	Jumlah	Harga
Navigation Deck						
Sun Power	E20-435-COM	27,84	151,12	1625,6	64	USD 26.880
Sun Power	X21-345-COM	31,74	172,29	1711,20	92	USD 41.216
Canadian Solar	320P-FG	25,28	137,22	2172,50	79	USD 18.170
Awning Navigation Deck						
Sun Power	E20-435-COM	8,7	136,6588	508	20	USD 8.400
Sun Power	X21-345-COM	8,97	140,9	483,6	26	USD 11.648
Canadian Solar	320P-FG	8,32	130,69	715,00	26	USD 5.980
Awning Top Deck						
Sun Power	E20-435-COM	17,40	156,60	1016,00	40	USD 16.800
Sun Power	X21-345-COM	8,97	140,90	483,60	26	USD 11.648
Canadian Solar	320P-FG	12,80	115,20	1100,00	40	USD 9.200

4.5 Analisa Ketersediaan Energi Angin

Pada tahap analisa potensi ketersediaan energi angin ini dilakukan perhitungan daya yang mampu dihasilkan oleh turbin angin. Pada analisa ini dilakukan pemilihan 5 spesifikasi turbin angin yang berbeda untuk dilakukan analisa dari segi daya aktual, power coefficient (C_p), daya per luas bidang kerja, daya per swept area, dan rasio daya. Turbin angin yang digunakan dalam penelitian ini berjenis turbin angin sumbu vertikal (TASV) atau vertical axis wind turbine (VAWT) dengan sudu berjenis Giromill (H-Rotor). Turbin angin jenis ini dipilih karena memiliki efisiensi yang paling tinggi. Data spesifikasi turbin angin yang dianalisa tertera pada tabel IV.7 di bawah ini.

Tabel IV.7. Spesifikasi turbin angin

Merk		Aeolos	Aeolos	Aeolos	Ecovane	Ecovane
Model		V 3KW	V 5KW	V 10KW	EV300	EV600
Rated Power	(kW)	3000	5000	10000	3000	10000
Cut In Wind Speed	(m/s)	2,5	2,5	2,5	1,5	1,5
Rated Wind Speed	(m/s)	10	12	12	12	12
Survival Wind Speed	(m/s)	55	55	55	16	16
Blade Quantity		3	4	3	3	4
Rotor Height	(m)	3,6	5	6,5	3	6
Rotor Width	(m)	3	4,5	5	2	4
Weight	(Kg)	106	285	680	250	1000
Swept Area	(m ²)	10,8	22,5	32,5	6	24
Rotation	RPM	320	150	150	350	150
Price	USD	5820	9800	16200	4800	11200
	IDR	78648649	64864865	132432432,3	2189189187,7	1513511351,2

Pada tahap analisa potensi ketersediaan energi surya ini dilakukan perhitungan luasan area di kapal perintis 2000 GT ini yang dapat dimanfaatkan sebagai tempat untuk mengaplikasikan dan peletakan panel surya. Dari hasil pengukuran, terdapat 3 daerah yang dapat dijadikan sebagai tempat peletakan panel surya yaitu pada navigation deck dengan luas area sebesar, awning navigation deck dengan luas area sebesar, dan awning top deck dengan luas area sebesar 111,1365 m². Pada analisa potensi ketersediaan energi surya ini, dipilih 3 spesifikasi panel surya yang berbeda untuk dilakukan analisa dari segi jumlah, total daya, total berat, dan total harga. Data spesifikasi panel surya yang dianalisa tertera pada tabel IV.8 berikut ini.

Tabel IV.8. Analisa perhitungan turbin angin

Merk	Model	Daya Output (KW)	Daya Aktual (KW)	Power Coefficient (Cp)	Daya / Luasan	Daya / Swept Area	Rasio Daya (%)
Aeolos	V 3KW	3000	1633,39	0,68	283,58	226,86	54,45
Aeolos	V 5KW	5000	2364,20	0,32	116,75	105,08	47,28
Aeolos	V 10KW	10000	5444,64	0,50	217,79	167,53	54,45
Ecovane	EV300	3000	945,25	0,47	236,31	157,54	31,51
Ecovane	EV600	5000	3579,94	0,45	223,75	149,16	35,80

4.6 Optimasi Pemilihan Panel Surya

Dari hasil perhitungan daya yang mampu dihasilkan pada setiap area penempatan oleh setiap spesifikasi panel surya yang dilakukan analisa, berdasarkan hasil analisa dari segi jumlah, total daya, total berat, daya per luasan, dan total harga tersebut akan dipilih panel surya yang paling tepat untuk digunakan pada setiap area penempatan yang telah ditentukan. Optimasi pemilihan panel surya pada setiap area penempatan tersebut dapat dilihat pada poin-poin berikut ini.

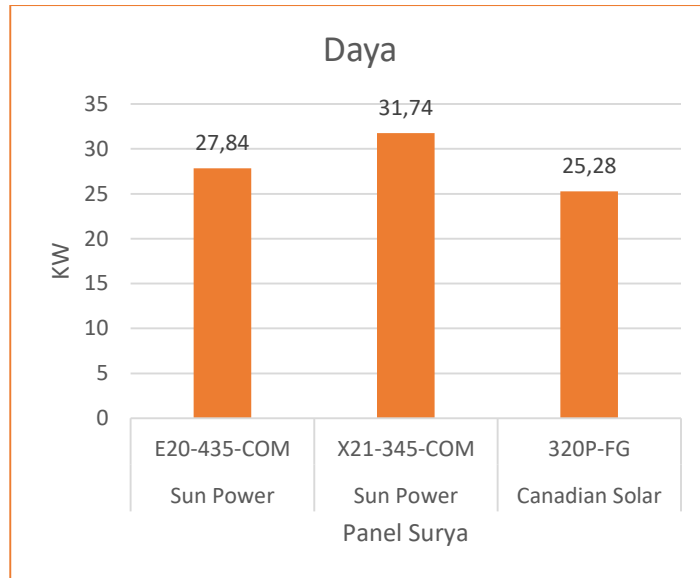
a. Navigation Deck

Pada area navigation deck, tabel perbandingan ketiga jenis spesifikasi panel surya yang dianalisa tertera di bawah ini.

Tabel IV.9. Optimasi panel surya di navigation deck

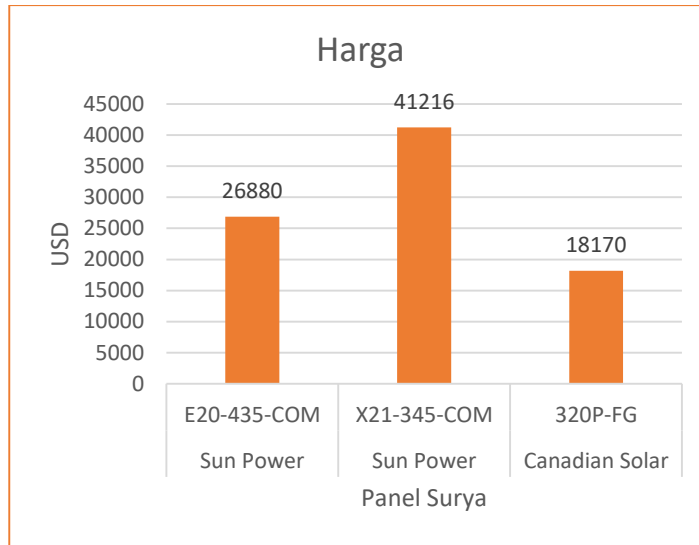
Merk	Model	Daya	Daya / Luasan	Total Berat	Jumlah	Harga
Sun Power	E20-435-COM	27,84	151,12	1625,6	64	USD 26.880
Sun Power	X21-345-COM	31,74	172,29	1711,20	92	USD 41.216
Canadian Solar	320P-FG	25,28	137,22	2172,50	79	USD 18.170

Grafik IV.1 menunjukkan perbandingan total daya yang dihasilkan oleh setiap spesifikasi panel surya yang dianalisa. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat daya terbesar pada area navigation deck mampu dihasilkan oleh panel surya dengan merk Sun Power model X21-345-COM yaitu sebesar 31,74 KW.



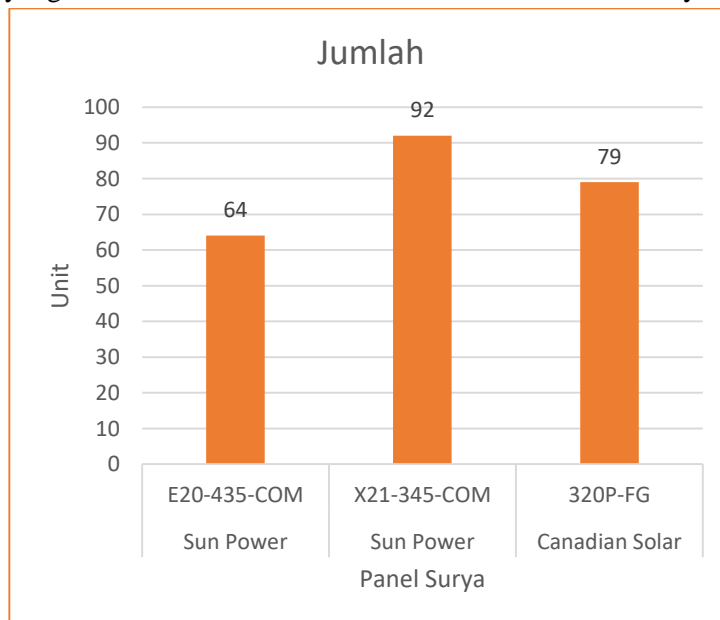
Grafik IV.1. Perbandingan daya di navigation deck

Grafik IV.2 menunjukkan perbandingan total harga yang harus diinvestasikan untuk setiap spesifikasi panel surya. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat total harga yang terkecil merupakan Canadian Solar model 320P-FG sebesar 18170 USD sedangkan yang terbesar adalah Sun Power x21-345-COM dengan harga lebih dari 2 kali lipat dari merk Canadian Solar model 320P-FG dan Sun Power model E20-435-COM yaitu sebesar 41216 USD dan 27720 USD.



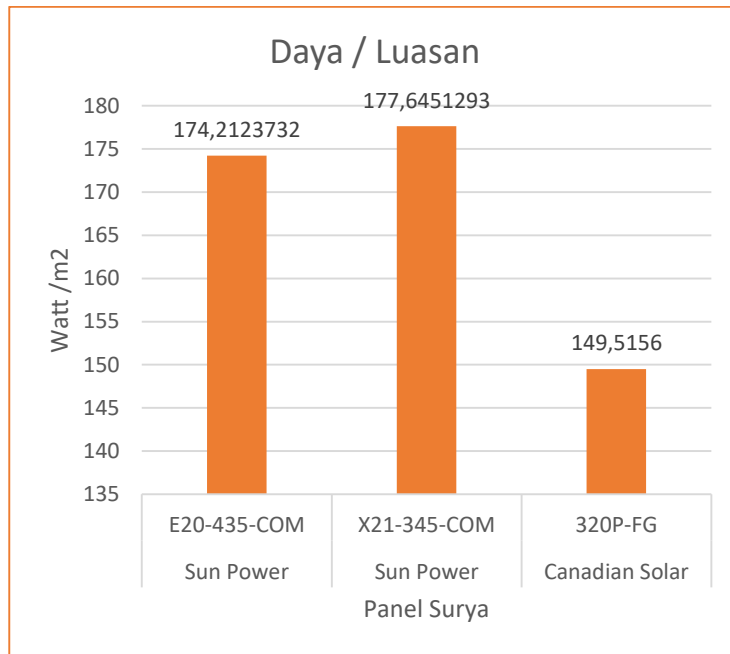
Grafik IV.2. Perbandingan harga di navigation deck

Grafik IV.3 menunjukkan perbandingan total panel surya yang dibutuhkan pada setiap area penempatan. Setiap panel surya memiliki ukuran yang berbeda – beda yang mempengaruhi total daya yang dapat dihasilkan dan total biaya yang dibutuhkan untuk mengaplikasikan jenis panel surya tersebut. Jumlah panel surya terbanyak yang dibutuhkan adalah Sun Power X21-345-COM sebanyak 92 unit.



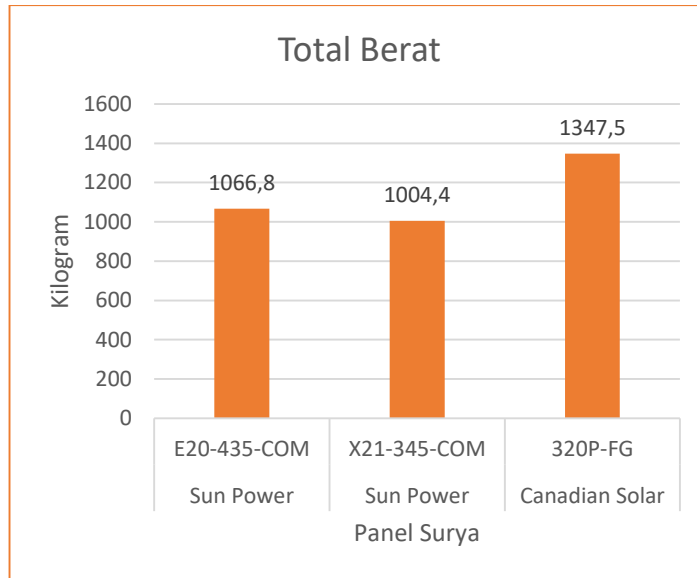
Grafik IV.3. Perbandingan jumlah di navigation deck

Grafik IV.4 menunjukkan perbandingan daya per satuan luas yang mampu dihasilkan oleh setiap spesifikasi panel surya yang dianalisa. Semakin tinggi daya yang mampu dihasilkan oleh panel surya untuk setiap satuan luas maka luasan panel surya yang dibutuhkan semakin kecil sehingga total area yang dibutuhkan juga semakin kecil. Nilai daya per satuan luas yang terbesar dihasilkan oleh panel surya Sun Power model X21-345-COM sebesar 172,29 Watt/m².



Grafik IV.4. Perbandingan dayadan luasan di navigation deck

Grafik IV.5 menunjukkan perbandingan total berat yang dimiliki oleh panel surya untuk setiap spesifikasi yang dianalisa. Total berat terbesar dimiliki oleh Canadian Solar model 320P-FG sebesar 2172,5 Kg dan untuk total berat dari panel surya Sun Power model E20-345-COM dan Sun Power model X21-345-COM tidak jauh berbeda yaitu sebear 1676,4 Kg dan 1711,2 Kg.



Grafik IV.5. Perbandingan total berat di navigation deck

Dari perbandingan ketiga jenis panel surya untuk area awning top dek, hasil optimasi pemilihannya dipilih panel surya dengan merk Sun Power model E20-435-COM. Untuk daya yang mampu dihasilkan Sun Power model E20-435-COM tidak menghasilkan daya terbesar dibandingkan dengan Sun Power model X21-345-COM. Tetapi jika dibandingkan dengan harga, Sun Power model E20-435-COM jauh lebih ekonomis dibandingkan dengan Sun Power model X21-345-COM yang menghasilkan daya terbesar tetapi total harganya 2 kali lipat dari Sun Power model E20-435-COM. Total harga sangat berpengaruh pada kelayakan penggunaan sistem ini disaat biaya seminimal mungkin harus didapatkan.

Tabel IV.10. Hasil optimasi di navigation deck

Merk	Model	Daya	Daya / Luasan	Total Berat	Jumlah	Total Harga
Sun Power	E20-435-COM	OK	OK	OK	OK	OK
Sun Power	X21-345-COM	OK	OK	OK	X	X
Canadian Solar	320P-FG	X	X	X	OK	OK

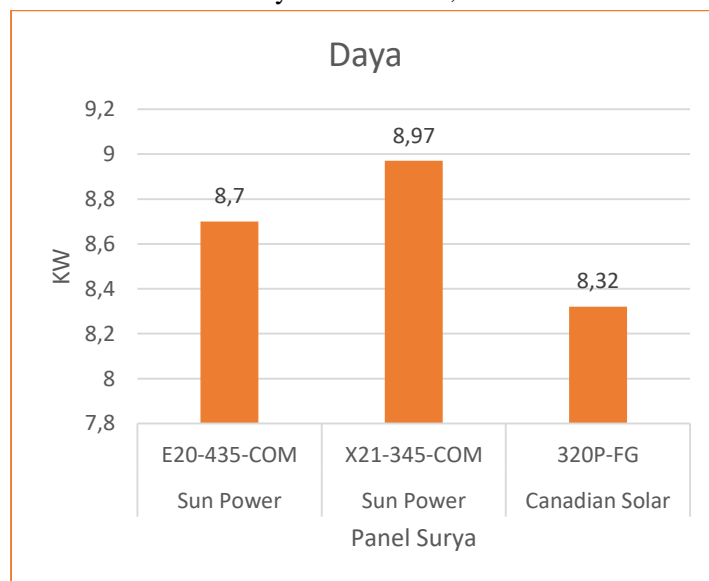
c. Awning Navigation Deck

Pada area awning navigation deck, tabel perbandingan ketiga jenis spesifikasi panel surya yang dianalisa tertera di bawah ini.

Tabel IV.11. Optimasi panel surya di awning navigation deck

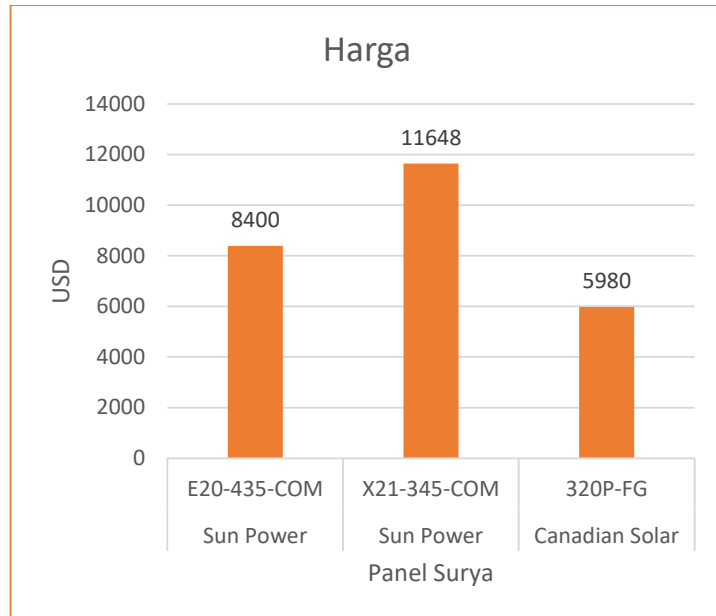
Merk	Model	Daya	Daya / Luasan	Total Berat	Jumlah	Harga
Sun Power	E20-435-COM	8,7	136,6588	508	20	USD 8.400
Sun Power	X21-345-COM	8,97	140,9	483,6	26	USD 11.648
Canadian Solar	320P-FG	8,32	130,69	715,00	26	USD 5.980

Garfik IV.6 menunjukkan perbandingan total daya yang dihasilkan oleh setiap spesifikasi panel surya yang dianalisa. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat daya terbesar pada area navigation deck mampu dihasilkan oleh panel surya dengan merk Sun Power model E20-435-COM yaitu sebesar 8,7 KW.



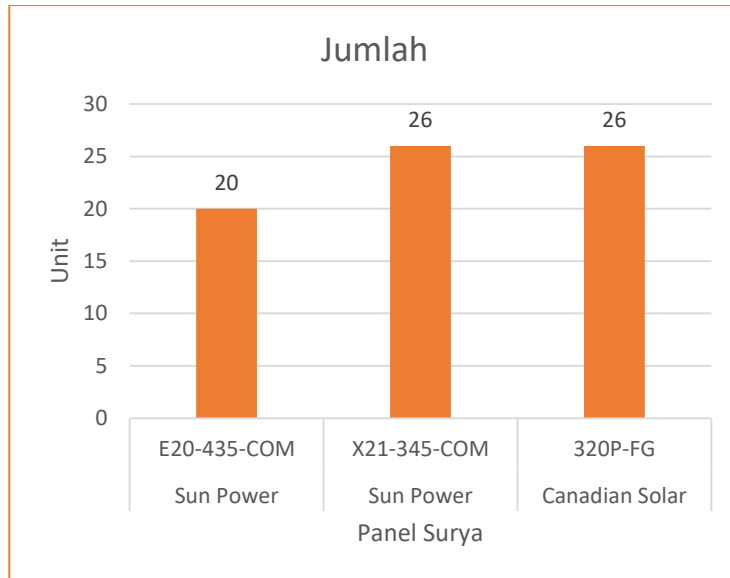
Grafik IV.6. Perbandingan daya di awning navigation deck

Grafik IV.7 menunjukkan perbandingan total harga yang harus diinvestasikan untuk setiap spesifikasi panel surya. Berdasarkan graik tersebut dapat dilihat total harga yang terkecil merupakan Canadian Solar model 320P-FG sebesar 5980 USD sedangkan yang terbesar adalah Sun Power x21-345-COM dengan harga lebih dari 2 kali lipat dari merk Canadian Solar model 320P-FG yaitu sebesar 11648 USD.



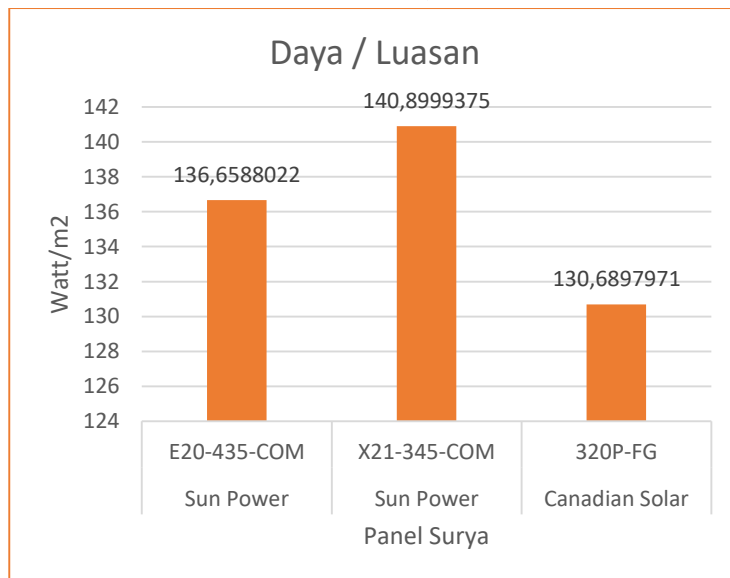
Grafik IV.7. Perbandingan harga di awning navigation deck

Grafik IV.8 menunjukkan perbandingan total panel surya yang dibutuhkan pada setiap area penempatan. Setiap panel surya memiliki ukuran yang berbeda – beda yang mempengaruhi total daya yang dapat dihasilkan dan total biaya yang dibutuhkan untuk mengaplikasikan jenis panel surya tersebut. Jumlah panel surya terbanyak yang dibutuhkan adalah Sun Power X21-345-COM dan Canadian Solar 320P-FG sebanyak 26 unit.



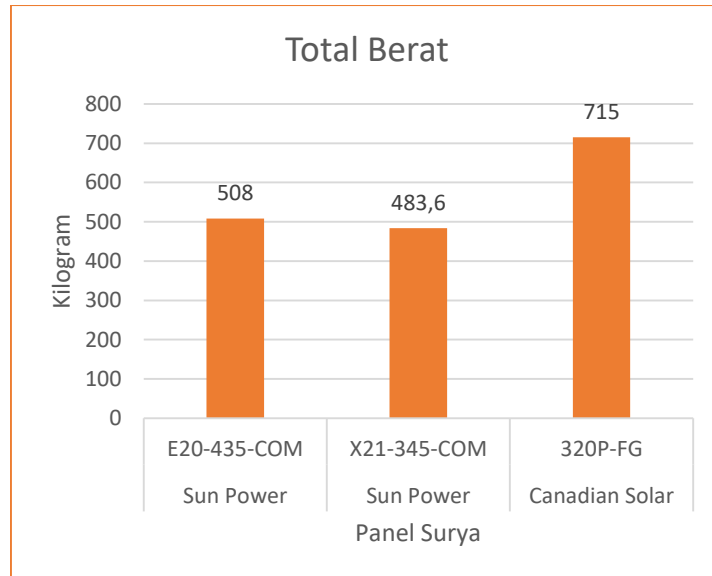
Grafik IV.8. Perbandingan jumlah di awning navigation deck

Grafik IV.9 menunjukkan perbandingan daya per satuan luas yang mampu dihasilkan oleh setiap spesifikasi panel surya yang dianalisa. Semakin tinggi daya yang mampu dihasilkan oleh panel surya untuk setiap satuan luas maka luasan panel surya yang dibutuhkan semakin kecil sehingga total area yang dibutuhkan juga semakin kecil. Nilai daya per satuan luas yang terbesar dihasilkan oleh panel surya Sun Power model E20-435-COM sebesar 150,33 Watt/m².



Grafik IV.9. Daya per luasan di awning navigation deck

Grafik IV.10 menunjukkan perbandingan total berat yang dimiliki oleh panel surya untuk setiap spesifikasi yang dianalisa. Total berat terbesar dimiliki oleh Canadian Solar model 320P-FG sebesar 715 Kg dan untuk total berat dari panel surya Sun Power model E20-345-COM dan Sun Power model X21-345-COM tidak jauh berbeda yaitu sebesar 558,8 Kg dan 483,6 Kg.



Grafik IV.10. Perbandingan massa di awning navigation deck

Dari perbandingan ketiga jenis panel surya untuk area awning top dek, hasil optimasi pemilihannya dipilih panel surya dengan merk Sun Power model E20-435-COM. Untuk daya yang mampu dihasilkan Sun Power model E20-435-COM menghasilkan daya terbesar dan harganya juga lebih ekonomis. Total harga sangat berpengaruh pada kelayakan penggunaan sistem ini disaat biaya seminimal mungkin harus didapatkan.

Tabel IV.12. Hasil optimasi di awning navigation deck

Merk	Model	Daya	Daya / Luasan	Total Berat	Jumlah	Total Harga
Sun Power	E20-435-COM	OK	OK	OK	OK	OK
Sun Power	X21-345-COM	OK	X	OK	OK	X
Canadian Solar	320P-FG	OK	X	X	OK	OK

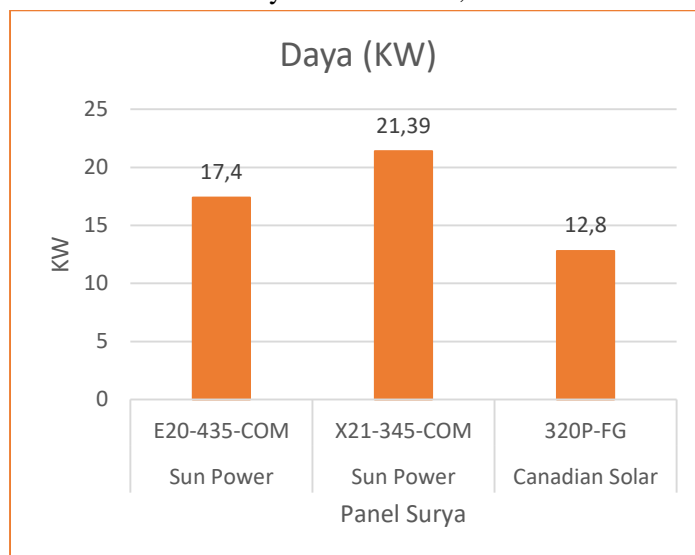
e. Awning Top Deck

Pada area awning top deck, tabel perbandingan ketiga jenis spesifikasi panel surya yang dianalisa tertera di bawah ini.

Tabel IV.13. Optimasi panel surya di awning top deck

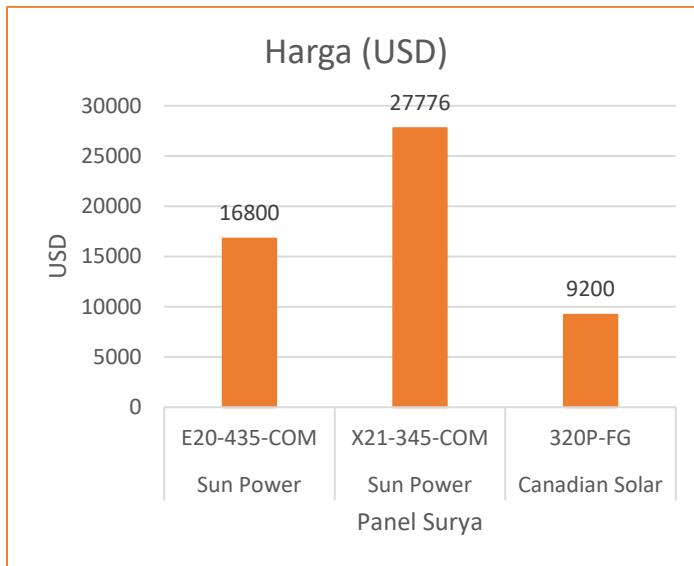
Merk	Model	Daya	Daya / Luasan	Total Berat	Jumlah	Harga
Sun Power	E20-435-COM	17,40	156,60	1016,00	40	USD 16.800
Sun Power	X21-345-COM	8,97	140,90	483,60	26	USD 11.648
Canadian Solar	320P-FG	12,80	115,20	1100,00	40	USD 9.200

Garfik IV.11 menunjukkan perbandingan total daya yang dihasilkan oleh setiap spesifikasi panel surya yang dianalisa. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat daya terbesar pada area navigation deck mampu dihasilkan oleh panel surya dengan merk Sun Power model X21-345-COM yaitu sebesar 31,74 KW.



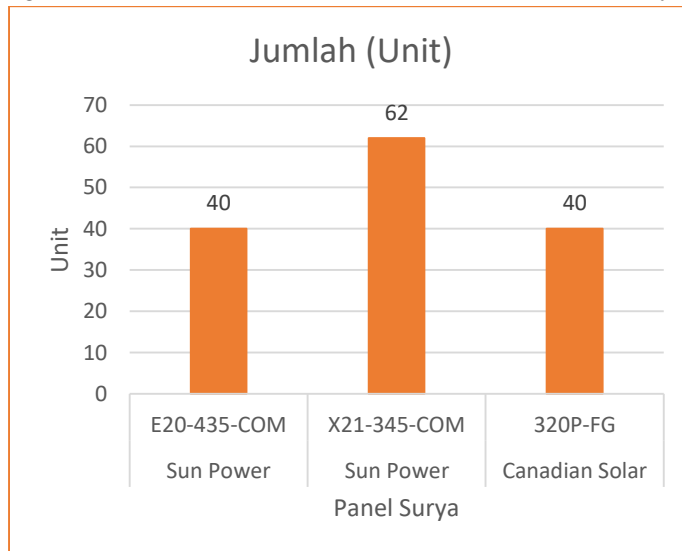
Grafik IV.11. Perbandingan daya di awning top deck

Grafik IV.12 menunjukkan perbandingan total harga yang harus diinvestasikan untuk setiap spesifikasi panel surya. Berdasarkan graik tersebut dapat dilihat total harga yang terkecil merupakan Canadian Solar model 320P-FG sebesar 9200 USD sedangkan yang terbesar adalah Sun Power X21-345-COM dengan harga lebih dari 3 kali lipat dari merk Canadian Solar model 320P-FG dan sekitar 2 kali lipat dari merk Sun Power model E20-435-COM yaitu sebesar 27776 USD.



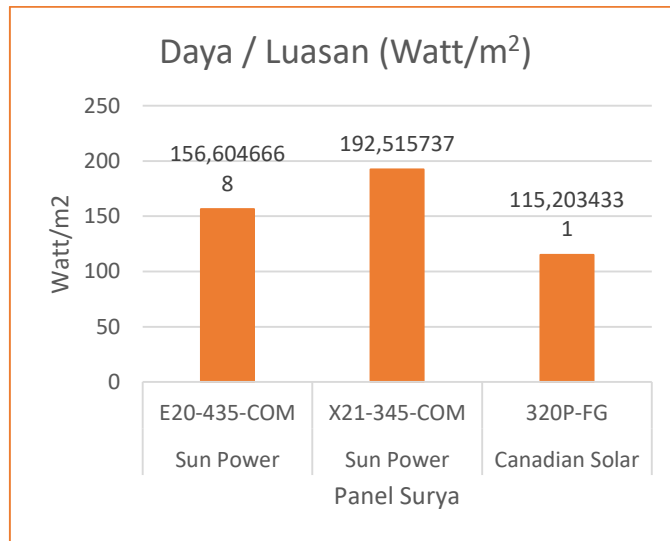
Grafik IV.12. Perbandingan harga di awning top deck

Grafik IV.13 menunjukkan perbandingan total panel surya yang dibutuhkan pada setiap area penempatan. Setiap panel surya memiliki ukuran yang berbeda – beda yang mempengaruhi total daya yang dapat dihasilkan dan total biaya yang dibutuhkan untuk mengaplikasikan jenis panel surya tersebut. Jumlah panel surya terbanyak yang dibutuhkan adalah Sun Power X21-345-COM sebanyak 62 unit.



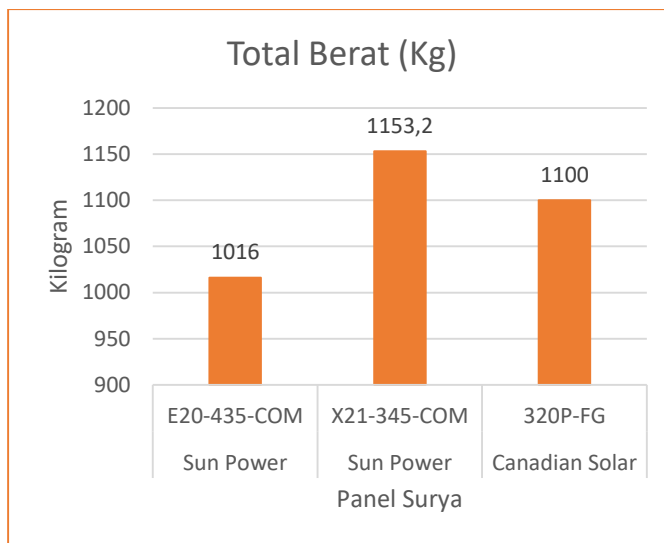
Grafik IV.13. Perbandingan jumlah di awning top deck

Grafik IV.14 menunjukkan perbandingan daya per satuan luas yang mampu dihasilkan oleh setiap spesifikasi panel surya yang dianalisa. Semakin tinggi daya yang mampu dihasilkan oleh panel surya untuk setiap satuan luas maka luasan panel surya yang dibutuhkan semakin kecil sehingga total area yang dibutuhkan juga semakin kecil. Nilai daya per satuan luas yang terbesar dihasilkan oleh panel surya Sun Power model X21-345-COM sebesar 192,52 Watt/m².



Grafik IV.14. Daya per luasan di awning top deck

Grafik IV.15 menunjukkan perbandingan total berat yang dimiliki oleh panel surya untuk setiap spesifikasi yang dianalisa. Total berat terbesar dimiliki oleh Sun Power model X21-345-COM, Sun Power model E20-345-COM, dan Canadian Solar model 320P-FG tidak jauh berbeda yaitu sebesar 1153,2 Kg, 1016 Kg, dan 1100 Kg.



Grafik IV.15. Perbandingan total berat di awning top deck

Dari perbandingan ketiga jenis panel surya untuk area awning top dek, hasil optimasi pemilihannya dipilih panel surya dengan merk Sun Power model E20-435-COM. Untuk daya yang mampu dihasilkan Sun Power model E20-435-COM tidak menghasilkan daya terbesar. Tetapi jika dibandingkan dengan harga, Sun Power model E20-435-COM jauh lebih ekonomis dibandingkan dengan Sun Power model X21-345-COM yang menghasilkan daya terbesar. Total harga sangat berpengaruh pada kelayakan penggunaan sistem ini disaat biaya seminimal mungkin harus didapatkan.

Tabel IV.14. Hasil optimasi di awning top deck

Merk	Model	Daya	Daya / Luasan	Total Berat	Jumlah	Total Harga
Sun Power	E20-435-COM	OK	OK	OK	OK	OK
Sun Power	X21-345-COM	OK	OK	OK	X	X
Canadian Solar	320P-FG	X	X	OK	OK	OK

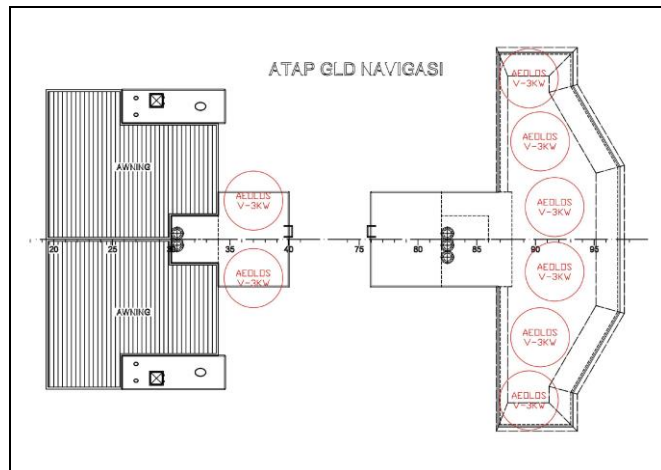
Dari hasil optimasi, diambil kesimpulan bahwa panel surya yang dipakai untuk awning navigation deck, awning top deck, dan di navigation deck adalah Sun Power E20-435-COM.

4.7 Optimasi Pemilihan Turbin Angin

Optimasi pemilihan turbin angin dilakukan dengan membuat skenario penempatan turbin angin yang memungkinkan berdasarkan luasan area yang telah ditentukan. Skenario penempatan ini dilakukan berdasarkan kemungkinan penempatan turbin angin terbanyak yang dapat diaplikasikan untuk kemudian dianalisa dan dipilih skenario yang paling optimum. Pada optimasi ini dibuat 7 skenario penempatan dengan memanfaatkan 5 spesifikasi turbin angin yang telah dianalisa pada tahap sebelumnya. Optimasi pemilihan turbin angin berdasarkan skenario yang telah dibuat dapat dilihat pada poin-poin berikut ini.

a. Skenario 1

Skenario 1 optimasi pemilihan turbin angin ini seluruhnya menggunakan turbin angin Aeolos-V 3KW dengan daya output 3000 Watt. Gambar IV.2 menunjukkan skenario penempatan turbin angin Aeolos-V 3KW.



Gambar IV.2. Skenario 1 turbin angin

(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain, 2017)

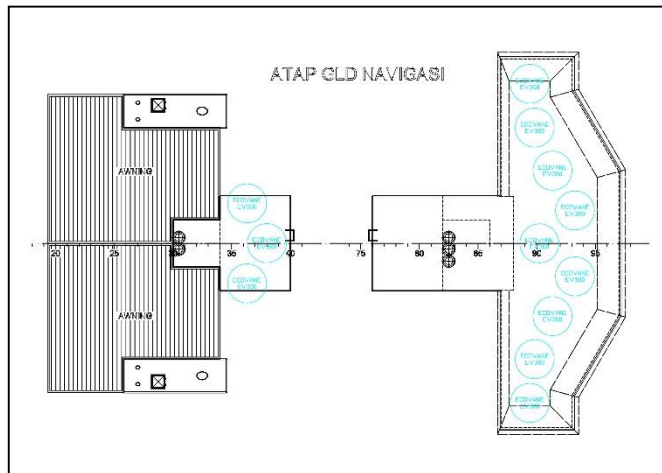
Tabel IV.15 menunjukkan hasil analisa dari segi total daya aktual, total massa, perbandingan daya dan massa, dan total harga yang dihasilkan dan dibutuhkan oleh turbin angin ini pada skenario ini.

Tabel IV.15. Analisa perhitungan skenario 1

Merk	Model	Daya Output (Watt)	Jumlah (Unit)	Total Daya Aktual (Watt)	Total Massa (Kg)	Daya / Massa (Watt / Kg)	Total Harga (USD)
Aeolos	V 3KW	3000	8	13111,81	848	15,46	46560

b. Skenario 2

Skenario 2 optimasi pemilihan turbin angin ini seluruhnya menggunakan turbin angin Ecovane EV300 dengan daya output 3000 Watt. Gambar IV.3 menunjukkan skenario penempatan turbin angin Ecovane EV300.



Gambar IV.3. Skenario 2 turbin angin

(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain, 2017)

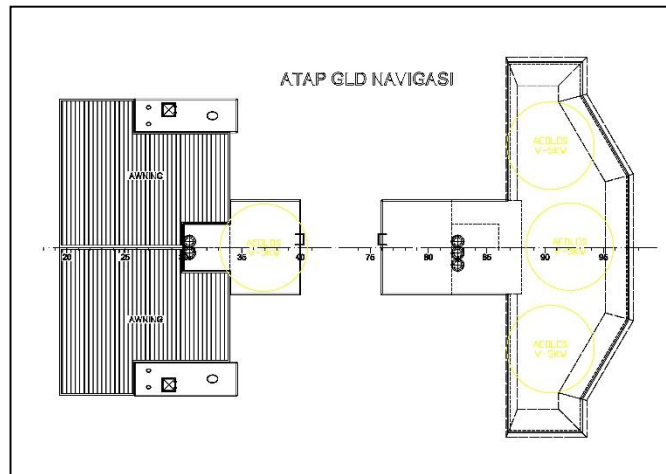
Tabel IV.16 menunjukkan hasil analisa dari segi total daya aktual, total massa, perbandingan daya dan massa, dan total harga yang dihasilkan dan dibutuhkan oleh turbin angin ini pada skenario ini.

Tabel IV.16. Analisa perhitungan skenario 2

Merk	Model	Daya Output (Watt)	Jumlah (Unit)	Total Daya Aktual (Watt)	Total Massa (Kg)	Daya / Massa (Watt / Kg)	Total Harga (USD)
Ecovane	EV300	3000	12	11381,78	3000	3,79	57600

c. Skenario 3

Skenario 3 optimasi pemilihan turbin angin ini seluruhnya menggunakan turbin angin Aeolos-V 5KW dengan daya output 5000 Watt. Gambar IV.4 menunjukkan skenario penempatan turbin angin Aeolos-V 5KW.



Gambar IV.4. Skenario 3 turbin angin

(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain, 2017)

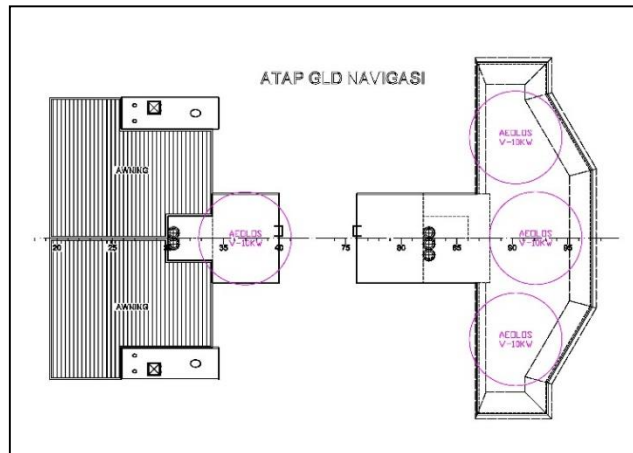
Tabel IV.17 menunjukkan hasil analisa dari segi total daya aktual, total massa, perbandingan daya dan massa, dan total harga yang dihasilkan dan dibutuhkan oleh turbin angin ini pada skenario ini.

Tabel IV.17. Analisa perhitungan skenario 3

Merk	Model	Daya Output (Watt)	Jumlah (Unit)	Total Daya Aktual (Watt)	Total Massa (Kg)	Daya / Massa (Watt / Kg)	Total Harga (USD)
Aeolos	V 5KW	5000	4	9521,55	1140	8,35	39200

d. Skenario 4

Skenario 4 optimasi pemilihan turbin angin ini seluruhnya menggunakan turbin angin Aeolos-V 10KW dengan daya output 10000 Watt. Gambar IV.5 menunjukkan skenario penempatan turbin angin Aeolos-V 10KW.



Gambar IV.5. Skenario 4 turbin angin

(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain, 2017)

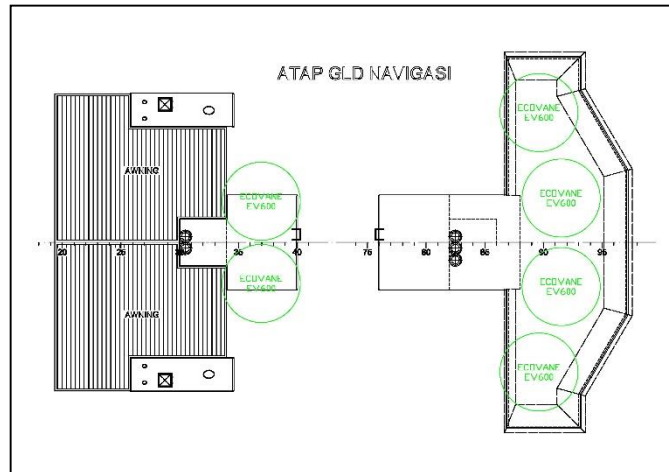
Tabel IV.18 menunjukkan hasil analisa dari segi total daya aktual, total massa, perbandingan daya dan massa, dan total harga yang dihasilkan dan dibutuhkan oleh turbin angin ini pada skenario ini.

Tabel IV.18. Analisa perhitungan skenario 4

Merk	Model	Daya Output (Watt)	Jumlah (Unit)	Total Daya Aktual (Watt)	Total Massa (Kg)	Daya / Massa (Watt / Kg)	Total Harga (USD)
Aeolos	V 10KW	10000	4	21853,01	2720	8,03	64800

e. Skenario 5

Skenario 5 optimasi pemilihan turbin angin ini seluruhnya menggunakan turbin angin Ecovane EV600 dengan daya output 10000 Watt. Gambar IV.6 menunjukkan skenario penempatan turbin angin Ecovane EV600.



Gambar IV.6. Skenario 5 turbin angin

(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain, 2017)

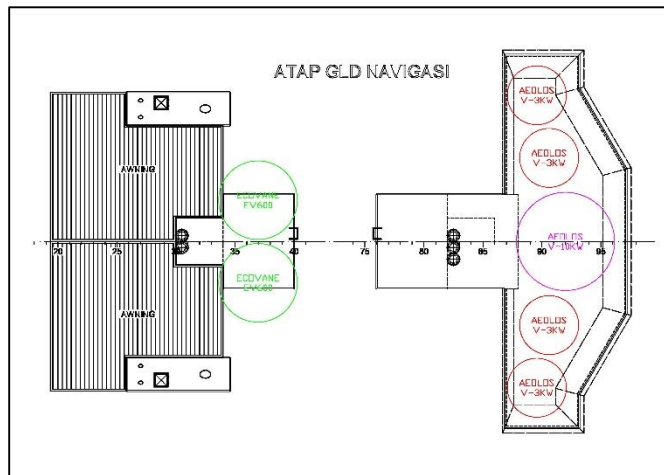
Tabel IV.19 menunjukkan hasil analisa dari segi total daya aktual, total massa, perbandingan daya dan massa, dan total harga yang dihasilkan dan dibutuhkan oleh turbin angin ini pada skenario ini.

Tabel IV.19. Analisa perhitungan skenario 5

Merk	Model	Daya Output (Watt)	Jumlah (Unit)	Total Daya Aktual (Watt)	Total Massa (Kg)	Daya / Massa (Watt / Kg)	Total Harga (USD)
Ecovane	EV600	10000	6	21553,06	6000	3,59	67200

f. Skenario 6

Skenario 6 optimasi pemilihan turbin angin ini seluruhnya menggunakan turbin angin Aeolos-V 3KW dengan daya output 3000 Watt, turbin angin Aeolos-V 10KW dengan daya output 10000 Watt, dan turbin angin Ecovane EV600 dengan daya output 10000 Watt. Gambar IV.7 menunjukkan skenario penempatan turbin angin.



Gambar IV.7. Skenario 6 turbin angin

(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain, 2017)

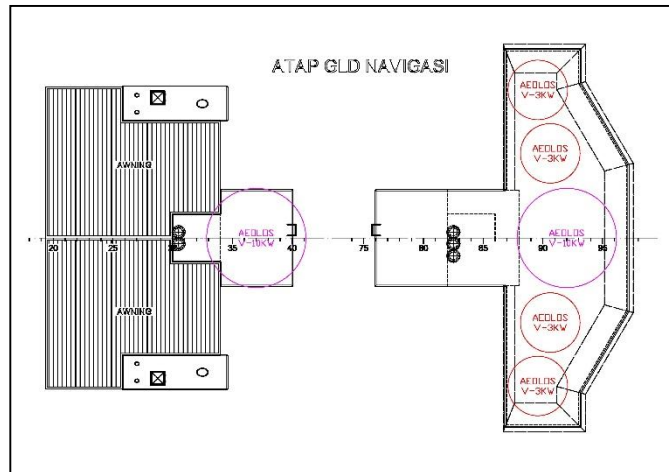
Tabel IV.20 menunjukkan hasil analisa dari segi total daya aktual, total massa, perbandingan daya dan massa, dan total harga yang dihasilkan dan dibutuhkan oleh turbin angin ini pada skenario ini.

Tabel IV.20. Analisa perhitungan skenario 6

Merk	Model	Daya Output (Watt)	Jumlah (Unit)	Total Daya Aktual (Watt)	Total Massa (Kg)	Daya / Massa (Watt / Kg)	Total Harga (USD)
Aeolos	V 3KW	3000	4	6555,90	424	6,19	23280
Aeolos	V 10KW	10000	1	5463,25	680		16200
Ecovane	EV600	10000	2	7184,35	2000		22400
Total				19203,51	3104		61880

g. Skenario 7

Skenario 7 optimasi pemilihan turbin angin ini seluruhnya menggunakan turbin angin Aeolos-V 3KW dengan daya output 3000 Watt, dan turbin angin Aeolos-V 10KW dengan daya output 10000 Watt. Gambar 16 menunjukkan skenario penempatan turbin angin.



Gambar IV.8. Skenario 7 turbin angin

(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain, 2017)

Tabel IV.21 menunjukkan hasil analisa dari segi total daya aktual, total massa, perbandingan daya dan massa, dan total harga yang dihasilkan dan dibutuhkan oleh turbin angin ini pada skenario ini.

Tabel IV.21. Analisa perhitungan skenario 7

Merk	Model	Daya Output (Watt)	Jumlah (Unit)	Total Daya Aktual (Watt)	Total Massa (Kg)	Daya / Massa (Watt / Kg)	Total Harga (USD)
Aeolos	V 3KW	3000	4	6555,90	424	9,80	23280
Aeolos	V 10KW	10000	2	10926,51	1360		32400
Total				17482,41	1784		55680

Optimasi pemilihan skenario turbin angin yang digunakan pada kapal perintis 2000 GT lebih menitikberatkan pada total massa yang dimiliki oleh setiap skenario dan juga persebaran massa pada area yang akan diaplikasikan. Pertimbangan tersebut menjadi prioritas awal karena turbin angin memiliki massa yang besar dan diletakkan pada deck tertinggi sehingga dapat mempengaruhi stabilitas kapal. Berdasarkan hasil analisa terhadap ketujuh skenario tersebut, diperoleh hasil pemilihan yang paling optimum adalah skenario 7 dari segi total massa, total daya aktual, total harga, dan perbandingan daya dan massa. Tabel 22 menunjukkan hasil optimasi pemilihan dari ketujuh skenario optimasi turbin angin.

Tabel IV.22. Hasil optimasi pemilihan turbin angin

Skenario	Total Daya Aktual	Total Massa	Daya / Massa	Total Harga
1	X	OK	OK	OK

2	X	X	X	X
3	X	OK	OK	OK
4	OK	OK	OK	X
5	OK	X	X	X
6	OK	OK	X	X
7	OK	OK	OK	OK

Dari hasil optimasi, diambil kesimpulan bahwa turbin angin yang dipakai untuk diaplikasikan adalah scenario 7 dengan 2 jenis panel surya yaitu Aeolos V 3KW dan Aeolos V 10KW.

4.8 Perhitungan Beban Puncak Penerangan

Untuk mengetahui beban puncak penerangan pada waktu tertentu di kapal, perlu dilakukan perencanaan waktu operasional lampu pada saat kapan digunakan dan pada saat kapan tidak digunakan dalam waktu 24 jam (1 hari). Tabel IV.23 menunjukkan hasil perhitungan beban puncak penerangan untuk setiap peralatan pada setiap deknya.

Tabel IV.23 Beban Penerangan pada Setiap Deck

A. KOMPARTEMEN LAMBUNG

No	Nama Ruangan	Type of Armature				Total Daya Armature	Durasi	Daya Jam
		Index	Σ	Type	Power			
					(Watt)	(kW)	(Jam)	(kWh)
1	Ruang Mesin Kemudi	MIR	1	LED	37	0,185	1	0,185
2	Ruang Power Pack	MIR	1	LED	37	0,148	1	0,148
3	Ruang Mesin Bantu	MIR	1	LED	53	0,424	24	10,176
4	Ruang Kontrol Kamar Mesin	TL11	2	LED	22,5	0,315	24	7,56
5	Ruang Mesin Induk	MIR	1	LED	53	0,53	24	12,72
6	Area Bengkel di Ruang Mesin Induk	TL60	2	LED	20	0,08	3	0,24
7	Ruang Palka Sedan Saat Pelayaran 1	TL60	2	LED	10	0,04	22	0,88
8	Ruang Palka Sedan Saat Pelayaran 2	TL60	2	LED	10	0,06	22	1,32
9	Ruang Palka Sedan Saat Pelayaran 3	TL60	2	LED	10	0,04	22	0,88
10	Ruang Palka Sedan Saat Bongkar Muat 1	TL60	2	LED	20	0,32	2	0,64
11	Ruang Palka Sedan Saat Bongkar Muat 2	TL60	2	LED	20	0,44	2	0,88
12	Ruang Palka Sedan Saat Bongkar Muat 3	TL60	2	LED	20	0,24	2	0,48
13	Jalur Kendaraan	TL60	2	LED	10	0,18	2	0,36
14	Ruang Kosong 1A	TL60	2	LED	10	0,08	1	0,08
15	Ruang Kosong 2A (1)	TL60	2	LED	10	0,04	1	0,04
16	Ruang Kosong 2A (2)	TL60	2	LED	10	0,04	1	0,04
17	Ruang Kosong 3A	TL60	2	LED	10	0,08	1	0,08

No	Nama Ruangan	Type of Armature				Total Daya Armature (kW)	Durasi (Jam)	Daya Jam (kWh)
		Index	Σ	Type	Power			
					(Watt)			
18	Ruang Kosong 4A	TL60	2	LED	10	0,08	1	0,08
19	Ruang Kosong 5A	TL60	2	LED	10	0,08	1	0,08
26	Tangga Kamar Mesin 1	TL44-S	1	LED	35	0,07	24	1,68
28	Tangga Kamar Mesin Bantu 1	TL44-S	1	LED	35	0,07	24	1,68
30	KM / WC Daerah Basin & Toilet	TL44-S	1	LED	19	0,019	2	0,038
31	Ruang Bow Thruster	MIR	1	LED	37	0,074	2	0,148
32	Stop Kontak ECR					0,704	4	2,816
33	Stop Kontak Workshop					1,408	1	1,408

B. GELADAK KENDARAAN

No	Nama Ruangan	Type of Armature				Total Daya Armature (kW)	Durasi (Jam)	Daya Jam (kWh)
		Index	Σ	Type	Power			
					(Watt)			
1	Ruang Tangki CO2 (PS)	TL60	2	LED	20	0,08	1	0,08
2	Ruang Hidrophore Sprinkler & Pompa Darurat	TL60	2	LED	20	0,08	1	0,08
3	Gudang 1	TL60	2	LED	20	0,04	4	0,16
3	Gudang 2	TL60	2	LED	20	0,04	4	0,16
3	Gudang 3	TL60	2	LED	20	0,04	4	0,16
3	Gudang 4	TL60	2	LED	20	0,04	4	0,16
3	Gudang 5	TL60	2	LED	20	0,04	4	0,16
4	Gang & Tangga Kerja 1	TL44-S	1	LED	35	0,07	24	1,68
5	Gang & Tangga Akomodasi 1	TL44-S	1	LED	35	0,07	24	1,68
5	Gang & Tangga Akomodasi 2	TL44-S	1	LED	35	0,07	24	1,68
6	Kamar ABK Secara Umum	TL11	2	LED	22,5	0,27	16	4,32
7	Kamar ABK Kondisi Tidur	TL14	1	LED	8	0,064	8	0,512
8	Kamar ABK Meja Kerja	DL42	1	LED	9	0,036	2	0,072
9	KM / WC Secara Umum 1	TL44-S	1	LED	36	0,072	4	0,288
10	KM / WC Daerah Basin & Toilet 1	TL14	1	LED	8	0,016	4	0,064
11	Ruang Generator Darurat	TL60	2	LED	20	0,08	1	0,08
12	Ruang Kendaraan Saat Pelayaran 1	TL60	2	LED	10	0,02	22	0,44

No	Nama Ruangan	Type of Armature				Total Daya Armature (kW)	Durasi (Jam)	Daya Jam (kWh)
		Index	Σ	Type	Power			
					(Watt)			
12	Ruang Kendaraan Saat Pelayaran 2	TL60	2	LED	10	0,26	22	5,72
12	Ruang Kendaraan Saat Pelayaran 3	TL60	2	LED	10	0,02	22	0,44
12	Ruang Kendaraan Saat Pelayaran 4	TL60	2	LED	10	0,02	22	0,44
12	Ruang Kendaraan Saat Pelayaran 5	TL60	2	LED	10	0,02	22	0,44
12	Ruang Kendaraan Saat Pelayaran 6	TL60	2	LED	10	0,02	22	0,44
13	Ruang Kendaraan Saat Bongkar Muat 1	TL60	2	LED	20	0,12	2	0,24
13	Ruang Kendaraan Saat Bongkar Muat 2	TL60	2	LED	20	2,52	2	5,04
13	Ruang Kendaraan Saat Bongkar Muat 3	TL60	2	LED	20	0,12	2	0,24
13	Ruang Kendaraan Saat Bongkar Muat 4	TL60	2	LED	20	0,16	2	0,32
13	Ruang Kendaraan Saat Bongkar Muat 5	TL60	2	LED	20	0,08	2	0,16
13	Ruang Kendaraan Saat Bongkar Muat 6	TL60	2	LED	20	0,08	2	0,16

C. GELADAK PENUMPANG 1

No	Nama Ruangan	Type of Armature				Total Daya Armature (kW)	Durasi (Jam)	Daya Jam (kWh)
		Index	Σ	Type	Power			
					(Watt)			
1	Mesin Geladak Buritan 1	TL60	2	LED	20	0,04	12	0,48
1	Mesin Geladak Buritan 2	TL60	2	LED	20	0,04	12	0,48
1	Mesin Geladak Buritan 3	TL60	2	LED	20	0,24	12	2,88
1	Mesin Geladak Buritan 4	TL60	2	LED	20	0,08	12	0,96
3	Ruang Duduk Terbuka Buritan	TL44-S	1	LED	35	0,07	12	0,84
4	Gang Terbuka & Tangga	TL44-S	1	LED	35	0,07	24	1,68
4	Tangga 1	TL44-S	1	LED	35	0,07	24	1,68
4	Tangga 2	TL44-S	1	LED	35	0,07	24	1,68
5	Mushola	TL11	2	LED	22,5	0,135	5	0,675
6	KM / WC Secara Umum	TL44-S	1	LED	36	0,108	10	1,08
7	KM / WC Daerah Basin	TL14	1	LED	8	0,04	10	0,4
7	KM / WC Daerah Toilet	AL60-W	1	LED	8	0,096	10	0,96
8	Gang & Koridor Ruang Penumpang Ekonomi	TL44-S	1	LED	35	0,07	24	1,68
8	Gang & Koridor Ruang Penumpang Ekonomi	TL44-S	1	LED	35	0,07	24	1,68
9	Area Tempat Tidur Secara Umum A	TL11	2	LED	22,5	0,72	16	11,52
9	Area Tempat Tidur Secara Umum B 1	TL11	2	LED	22,5	0,675	16	10,8

No	Nama Ruangan	Type of Armature				Total Daya Armature	Durasi	Daya Jam
		Index	Σ	Type	Power			
					(Watt)	(kW)	(Jam)	(kWh)
9	Area Tempat Tidur Secara Umum B 2	TL11	2	LED	22,5	0,135	16	2,16
9	Area Tempat Tidur Secara Umum B 3	TL11	2	LED	22,5	0,09	16	1,44
10	Area Tempat Tidur Saat Tidur A	TL11	2	LED	22,5	0,18	8	1,44
10	Area Tempat Tidur Saat Tidur B 1	TL11	2	LED	22,5	0,135	8	1,08
10	Area Tempat Tidur Saat Tidur B 2	TL11	2	LED	22,5	0,045	8	0,36
10	Area Tempat Tidur Saat Tidur B 3	TL11	2	LED	22,5	0,09	8	0,72
11	Lobi & Tangga Akomodasi	TL44-S	1	LED	35	0,035	24	0,84
12	Ruang Informasi	TL11	2	LED	22,5	0,045	15	0,675
13	Mesin Geladak Haluan	TL60	2	LED	20	0,12	12	1,44
13	Mesin Geladak Haluan	TL60	2	LED	20	0,12	12	1,44
14	Stop Kontak Gang & Koridor Ruang Penumpang Ekonomi					2,816	12	33,792
15	Stop Kontak Gang & Koridor Ruang Penumpang Ekonomi					2,816	12	33,792

D. GELADAK PENUMPANG 2

No	Nama Ruangan	Type of Armature				Total Daya Armature	Durasi	Daya Jam
		Index	Σ	Type	Power (Watt)			
1	Teras Buritan	TL44-S	1	LED	35	0,105	12	1,26
1	Teras Smping	TL44-S	1	LED	35	0,07	12	0,84
1	Teras Haluan 1	TL44-S	1	LED	35	0,07	12	0,84
1	Teras Haluan 2	TL44-S	1	LED	35	0,07	12	0,84
2	Geladak Sekoci	FL60	3	LED	40	0,48	12	5,76
3	Restauran Secara Umum 1	TL11	2	LED	22,5	0,18	7	1,26
3	Restauran Secara Umum 2	TL11	2	LED	22,5	0,09	7	0,63
4	Restauran Saat Hiburan 1	TL11	2	LED	22,5	0,045	2	0,09
4	Restauran Saat Hiburan 2	TL11	2	LED	22,5	0,045	2	0,09
5	Meja Bar 1	DL42	1	LED	9	0,009	4	0,036
5	Meja Bar 2	DL42	1	LED	9	0,009	4	0,036
6	Panggung Saat Hiburan (Moving Head Spot Light)	PAR	2	HL	250	0,5	2	1
6	Panggung Saat Hiburan (Lampu Sorot)	PAR	6	HL	100	0,6	2	1,2
7	Panggung Secara Umum	TL11	2	LED	22,5	0,045	2	0,09
8	Dapur 1	1961	2	LED	17	0,068	12	0,816
9	Meja Kompor & Potong 1	DL42	1	LED	9	0,009	12	0,108
9	Meja Kompor & Potong 1	DL42	1	LED	9	0,018	12	0,216

No	Nama Ruangan	Type of Armature				Total Daya Armature	Durasi	Daya Jam
		Index	Σ	Type	Power			
					(Watt)	(kW)	(Jam)	(kWh)
9	Meja Kompor & Potong 3	DL42	1	LED	9	0,009	12	0,108
8	Dapur 2	1961	2	LED	17	0,102	8	0,816
9	Meja Kompor & Potong 1	DL42	1	LED	9	0,036	8	0,288
9	Meja Kompor & Potong 1	DL42	1	LED	9	0,009	8	0,072
9	Meja Kompor & Potong 3	DL42	1	LED	9	0,027	8	0,216
10	Gang & Koridor 1	TL11	2	LED	22,5	0,045	24	1,08
10	Gang & Koridor 2	TL11	2	LED	22,5	0,045	24	1,08
10	Gang & Koridor 3	TL11	2	LED	22,5	0,045	24	1,08
11	Kamar Perwira Secara Umum	TL11	2	LED	22,5	0,09	16	1,44
12	Kamar Perwira Saat Tidur	TL14	1	LED	8	0,048	8	0,384
11	Kamar Penumpang Kelas, Klinik, ABK Secara Umum	TL11	2	LED	22,5	0,72	16	11,52
12	Kamar Penumpang Kelas, Klinik, ABK Saat Tidur	TL14	1	LED	8	0,256	8	2,048
13	Kamar Penumpang Kelas, Klinik, ABK & Perwira di Meja Kerja	DL42	1	LED	9	0,162	3	0,486
14	KM / WC Kamar Penumpang Kelas, Klinik, ABK & Perwira	TL44-S	1	LED	35	0,63	2	1,26
11	Kamar Klinik Secara Umum	TL11	2	LED	22,5	0,045	16	0,72
12	Kamar Klinik Saat Tidur	TL14	1	LED	8	0,016	8	0,128

No	Nama Ruangan	Type of Armature				Total Daya Armature	Durasi	Daya Jam
		Index	Σ	Type	Power			
					(Watt)	(kW)	(Jam)	(kWh)
13	Kamar Klinik di Meja Kerja	DL42	1	LED	9	0,009	3	0,027
14	KM / WC Klinik	TL44-S	1	LED	35	0,035	2	0,07
14	KM / WC Secara Umum	TL44-S	1	LED	35	0,035	10	0,35
15	KM / WC Daerah Toilet & Shower	AL60-W	1	LED	8	0,008	10	0,08
15	KM / WC Daerah Basin	TL14	1	LED	8	0,008	10	0,08
16	Mess ABK Secara Umum	TL11	2	LED	22,5	0,225	8	1,8
17	Mess ABK Saat Istirahat	TL11	2	LED	22,5	0,045	4	0,18
18	Ruang Binatu	MIR	1	LED	37	0,037	5	0,185
18	Gudang Makanan	1961	2	LED	17	0,034	6	0,204

E. GELADAK NAVIGASI

No	Nama Ruangan	Type of Armature				Total Daya Armature (kW)	Durasi (Jam)	Daya Jam (kWh)
		Index	Σ	Type	Power			
					(Watt)			
1	Ruang Kemudi Secara Umum 1	TL11	2	LED	22,5	0,27	12	3,24
1	Ruang Kemudi Secara Umum 2	TL11	2	LED	22,5	0,225	12	2,7
2	Ruang Kemudi Meja Peta	DL42	1	LED	9	0,009	10	0,09
3	Ruang Kemudi Saat Malam di Daerah Koridor & Pintu	TL14	1	LED	8	0,024	8	0,192
4	Ruang ESEP	TL60	2	LED	10	0,02	2	0,04
5	Tangga dan Koridor	TL44-S	1	LED	35	0,035	24	0,84
6	Kantor Secara Umum	TL11	2	LED	22,5	0,045	12	0,54
6	KM / WC Secara Umum	AL60-W	1	LED	14	0,028	2	0,056
7	Kantor Meja Kerja	DL42	1	LED	9	0,027	4	0,108
8	Ruang AHU 1	TL60	2	LED	20	0,16	1	0,16
9	Ruang Duduk Terbuka	TL44-S	1	LED	35	0,28	12	3,36

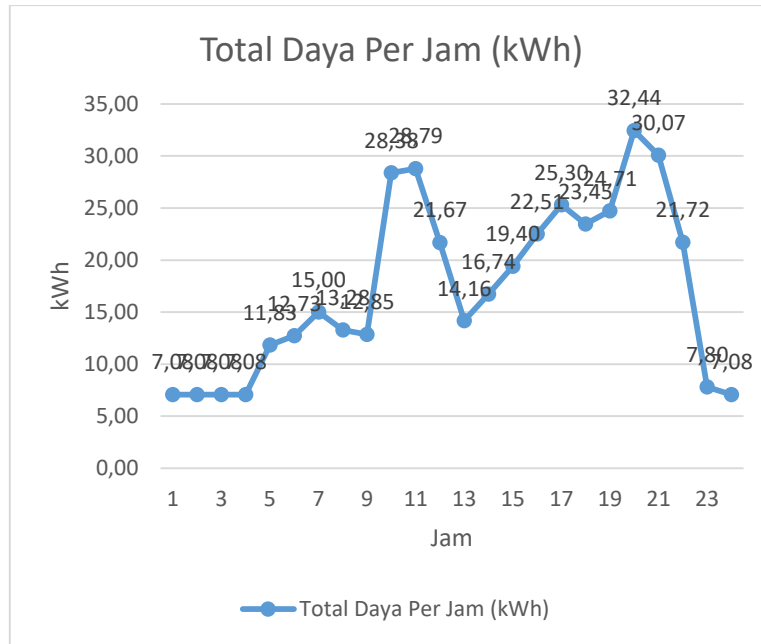
F. LAMPU NAVIGASI

No	Nama Ruangan	Jumlah	Power	Total	Durasi	kWh
1	Lampu Sorot (Search Light)	2	250	0,5	24	12
2	Lampu Morse (Signal) di Tiang Radar	1	65	0,07	24	1,56
3	Lampu NUC (Red Light) di Tiang Radar	1	40	0,04	24	0,96
4	Lampu RAM (White Light) di Tiang Radar	1	65	0,07	24	1,56
5	Lampu Jangkar (Anchor Light) di Tiang Radar	1	65	0,07	24	1,56
6	Lampu Tiang Utama di Tiang Haluan (Forward Mast Head)	1	65	0,07	24	1,56
7	Lampu Tiang Utama di Tiang Buritan (Stern Mast Head)	1	65	0,07	24	1,56
8	Lampu Samping Kiri (PS) Warna Merah	1	65	0,07	24	1,56
9	Lampu Samping Kanan (SB) Warna Hijau	1	65	0,07	24	1,56
10	Lampu Tiang Buritan (Stern Light) di Tiang Bendera Buritan	1	60	0,06	24	1,44

Tabel IV.24 menunjukkan total beban penerangan keseluruhan kapal pada setiap jam selama 1 hari.

Tabel IV.24 Total Beban Penerangan pada Setiap Jam

Jam	Total Daya Per Jam	
	(Wh)	(kWh)
1	7076	7,08
2	7076	7,08
3	7076	7,08
4	7076	7,08
5	11834	11,83
6	12732	12,73
7	15001	15,00
8	13275	13,28
9	12848	12,85
10	28383	28,38
11	28791	28,79
12	21673	21,67
13	14162	14,16
14	16737	16,74
15	19395	19,40
16	22514	22,51
17	25295	25,30
18	23451	23,45
19	24712	24,71
20	32443	32,44
21	30071	30,07
22	21722	21,72
23	7798	7,80
24	7076	7,08



Grafik IV.16 Beban Penerangan pada Setiap Jam

4.9 Konfigurasi Ulang Sistem Kelistrikan

Berdasarkan hasil perhitungan beban puncak penerangan yang dilakukan pada tahap sebelumnya, kemudian dapat dilakukan konfigurasi ulang untuk sistem kelistrikan untuk memenuhi kebutuhan lampu penerangan di kapal Perintis 2000GT. Konfigurasi ulang sistem kelistrikan ini dilakukan karena adanya penambahan panel surya dan turbin angin untuk memenuhi kebutuhan lampu penerangan di kapal sehingga kita dapat mengurangi jumlah daya yang harus disediakan oleh generator utama kapal. Berdasarkan hasil perhitungan, panel surya dapat menghasilkan daya sebesar 53,94 kW dan total daya per jamnya sebesar 323,87 kWh dari panel surya yang berjumlah 128 unit. Sedangkan turbin angin dapat menghasilkan daya sebesar 17,42 kW dan total daya per jamnya sebesar 419,58 kWh dari turbin angin jenis Aeolos V 3kW berjumlah 4 unit dan Aeolos V 10kW berjumlah 2 unit. Dengan pemanfaatan turbin angin dan panel surya ini, untuk memenuhi kebutuhan daya lampu penerangan tidak membutuhkan generator lagi untuk memenuhinya.

Dalam konfigurasi ulang sistem kelistrikan di kapal Perintis 2000GT ini, dilakukan skenario dengan metode *trial & error* sehingga ditemukan saat kapan daya yang dihasilkan oleh turbin angin dan panel surya disimpan dan saat daya yang dihasilkan digunakan untuk memenuhi kebutuhan lampu penerangan di Kapal Perintis 2000GT.

Tabel IV.25 menunjukkan skenario penggunaan daya yang dihasilkan oleh turbin angin dan panel surya untuk digunakan memenuhi kebutuhan daya lampu penerangan di kapal Perintis 2000GT.

Tabel IV.25 Skenario Penggunaan Daya

Jam	Daya (kWh)		Total Daya (kWh)
	Panel Surya	Turbin Angin	
1		17,42	17,42
2		17,42	17,42
3		17,42	17,42
4		17,42	17,42
5		17,42	17,42
6		17,42	17,42
7		17,42	17,42
8		17,42	17,42
9		17,42	17,42
10	53,94		53,94
11	53,94		53,94
12	53,94		53,94
13	53,94		53,94
14	53,94		53,94
15	42,08		42,08
16		34,85	34,85
17		34,85	34,85
18		26,13	26,13
19		26,13	26,13
20		34,85	34,85
21		34,85	34,85
22		34,85	34,85
23		17,42	17,42
24		17,42	17,42
Total	313,93	418,15	732,08

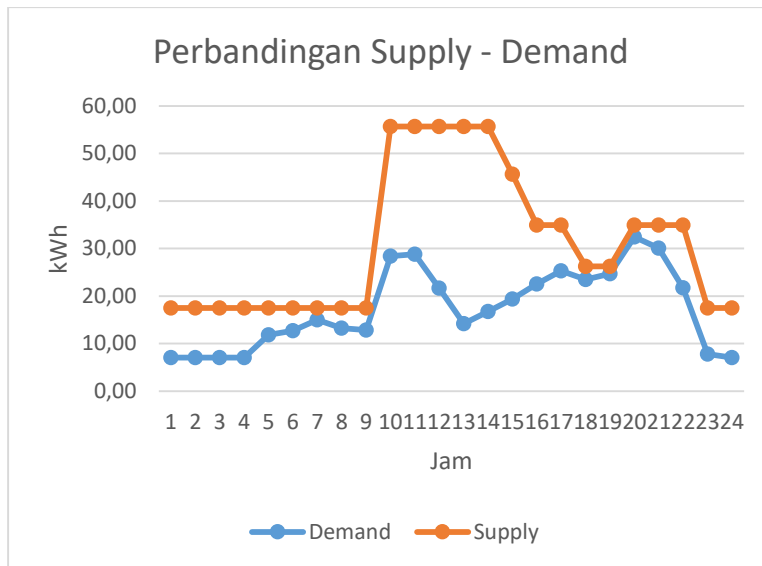
Berdasarkan hasil perhitungan konfigurasi sistem kelistrikan pada kapal Perintis 2000GT, dapat diketahui total daya yang dihasilkan pada setiap jamnya yang telah disesuaikan dengan hasil perhitungan beban penerangan sehingga total daya yang dihasilkan dapat menutupi kebutuhan daya yang harus dipenuhi. Tabel IV.26 menunjukkan kebutuhan daya penerangan pada setiap jamnya dengan total daya hasil

konfigurasi sistem kelistrikan di kapal. Selisih daya atau sisa daya yang dimiliki kemudian akan disimpan untuk digunakan saat dibutuhkan disaat kemudian.

Tabel IV.26 Perbandingan Daya Supply - Demand

Jam	Daya yang Dihasilkan (kWh)	Kebutuhan Daya (kWh)	Selisih Daya (kWh)
1	17,42	7,08	10,35
2	17,42	7,08	10,35
3	17,42	7,08	10,35
4	17,42	7,08	10,35
5	17,42	11,83	5,59
6	17,42	12,73	4,69
7	17,42	15,00	2,42
8	17,42	13,28	4,15
9	17,42	12,85	4,57
10	53,94	28,38	25,56
11	53,94	28,79	25,15
12	53,94	21,67	32,27
13	53,94	14,16	39,78
14	53,94	16,74	37,20
15	42,08	19,40	24,84
16	34,85	22,51	12,33
17	34,85	25,30	9,55
18	26,13	23,45	2,68
19	26,13	24,71	1,42
20	34,85	32,44	2,40
21	34,85	30,07	4,77
22	34,85	21,72	13,12
23	17,42	7,80	9,62
24	17,42	7,08	10,35
Total	732,08	418,22	313,86

Grafik IV.17 menunjukkan perbandingan total daya yang dihasilkan oleh turbin angin dan panel surya dengan total daya yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan lampu penerangan pada Kapal Perintis 2000GT.



Grafik IV.17 Perbandingan Daya Supply - Demand

Berdasarkan hasil perhitungan konfigurasi ulang sistem kelistrikan di kapal Perintis 2000GT, kebutuhan daya yang harus disuplai oleh generator utama kapal dapat dikurangi sebesar 59,98 kW. Spesifikasi awal generator utama kapal Perintis 2000GT berdasarkan buku spesifikasi teknis dan spesifikasi yang dipilih adalah sebagai berikut:

Merk	: Caterpillar	
Model	: 3412C TA	
Power	: 725	kVA
	: 580	kW
Frekuensi	: 50	Hz
FOC	: 117,5	L/hr
Harga	: 73500	EUR
	: 1.176.933.648,45	IDR

Spesifikasi generator utama kapal Perintis 2000GT yang dipilih setelah dilakukan konfigurasi ulang sistem kelistrikan di kapal Perintis 2000GT adalah sebagai berikut:

Merk	: Caterpillar	
Model	: C18 572RSL4028	
Power	: 635	kVA
	: 508	kW
Frekuensi	: 50	Hz
FOC	: 96,9	L/hr
Harga	: 49000	USD
	: 662.162.161,50	IDR

4.10 Perhitungan Kebutuhan Baterai

Dalam perancangan sistem ini, dibutuhkan media penyimpanan untuk menyimpan energy listrik yang dihasilkan oleh panel surya dan turbin angin. Media penyimpanan yang digunakan tersebut adalah baterai. Baterai tersebut nantinya akan digunakan untuk menyuplai kebutuhan beban listrik pada saat akan digunakan sesuai dengan hasil skenario konfigurasi ulang sistem kelistrikan pada kapal Perintis 2000GT. Suplay daya yang akan digunakan dari baterai direncanakan pada saat pukul 16.00 – 22.00. Dalam perencanaan kebutuhan baterai ini, juga dilakukan perhitungan selisih daya antara supply dan demand sehingga dapat disimpan dan digunakan saat dibutuhkan sebagai cadangan daya.

a. Kebutuhan Baterai Untuk Turbin Angin

Daya yang Disimpan	=	235,40	kWh
Voltase Sistem	=	48	V
Kapasitas Total	=	9,8081	kAh
Minimum	=	9808,17	Ah
Efisiensi Inverter	=	95	%

Untuk perhitungan baterai turbin angin, diambil 3 jenis spesifikasi baterai yang kemudian dipilih berdasarkan jumlah dan total harga yang dibutuhkan. Tabel IV.27 menunjukkan spesifikasi baterai yang digunakan dalam perhitungan kebutuhan baterai untuk turbin angin.

Tabel IV.27 Spesifikasi Baterai

Parameter	Victron Energy	Victron Energy	Rools Battery
Type	Lithium Ion	AGM	AGM
Volt	24	12	12
Ah	180	265	375
Dimension (mm)			
Length	623	520	552
Width	193	268	337
Height	351	223	310
Weight (Kg)	55	75	104
Price	5285 EUR	715 EUR	1299 USD

Dalam perhitungan kebutuhan baterai, terlebih dahulu dilakukan beberapa perhitungan sebagai berikut:

- i. Daya yang harus disuplai memperhatikan efisiensi inverter

$$C = \text{Ampere Hour Needed} / \text{Eff Inverter}$$

Efisiensi inverter digunakan sebesar 95%

- i. Daya yang harus disuplai memperhatikan efisiensi baterai

$$C1 = C / \text{Eff Baterai}$$

Efisiensi baterai digunakan sebesar 85%

- ii. Jumlah rangkaian baterai

$$Na = C1 / \text{Ampere Hour Baterai}$$

- iii. Jumlah baterai

$$Nv = \text{Tegangan Sistem} / \text{Tegangan Baterai}$$

- iv. Total Baterai

$$N_{\text{Tot}} = Na \times Nv$$

Tabel IV.28 menunjukkan hasil perhitungan kebutuhan baterai untuk turbin angin berikut dengan biaya investasi pembelian baterai.

Tabel IV.28 Hasil Perhitungan Baterai Turbin Angin

Parameter	Victron Energy	Victron Energy	Roops Battery
Type	Lithium Ion	AGM	AGM
Volt	24	12	12
Ah	180	265	375
E DC (kWh)	245,9	245,9	245,9
E (kWh)	289,3	289,3	289,3
E Batt (Wh)	4320	3180	4500
N	68	92	68
Nv	2	4	4
M Total (Kg)	3740	6900	7072
Harga (IDR)	5.645.758.718	1.053.315.584	1.193.675.674
Ket	NO	NO	OK

- b. Kebutuhan Baterai Untuk Panel Surya

Daya yang Disimpan	=	194,92	kWh
Voltase Sistem	=	12	V
Kapasitas Total	=	33,49	kAh
Minimum			
	=	33490,82	Ah
Efisiensi Inverter	=	95	%

Untuk perhitungan baterai panel surya, diambil 2 jenis spesifikasi baterai yang kemudian dipilih berdasarkan jumlah dan total harga yang dibutuhkan. Tabel IV.29 menunjukkan spesifikasi baterai yang digunakan dalam perhitungan kebutuhan baterai untuk turbin angin.

Tabel IV.29 Spesifikasi Baterai

Parameter	Victron Energy	Rools Battery
Type	AGM	AGM
Volt	12	12
Ah	265	375
Dimension (mm)		
Length	520	552
Width	268	337
Height	223	310
Weight (Kg)	75	104
Price	715 EUR	1299 USD

Dalam perhitungan kebutuhan baterai, terlebih dahulu dilakukan beberapa perhitungan sebagai berikut:

- v. Daya yang harus disuplai memperhatikan efisiensi inverter

$$C = \text{Ampere Hour Needed} / \text{Eff Inverter}$$

Efisiensi inverter digunakan sebesar 95%

- vi. Daya yang harus disuplai memperhatikan efisiensi baterai

$$C1 = C / \text{Eff Baterai}$$

Efisiensi baterai digunakan sebesar 85%

- vii. Jumlah rangkaian baterai

$$N_a = C1 / \text{Ampere Hour Baterai}$$

- viii. Jumlah baterai

$$N_v = \text{Tegangan Sistem} / \text{Tegangan Baterai}$$

- ix. Total Baterai

$$N_{\text{Tot}} = N_a \times N_v$$

Tabel IV.30 menunjukkan hasil perhitungan kebutuhan baterai untuk turbin angin berikut dengan biaya investasi pembelian baterai.

Tabel IV.30 Hasil Perhitungan Baterai Panel Surya

Parameter	Victron Energy	Rolls Battery
Type	AGM	AGM
Volt	12	12
Ah	265	375
N	72	52
Nv	4	4
M Total (Kg)	5400	5304
Harga (IDR)	824.333.935	912.810.810
Ket	NO	OK

4.11 Analisa Tahanan Angin pada Turbin Angin

Dengan adanya penambahan turbin angin, menyebabkan tahanan angin yang diterima oleh kapal akan semakin besar karena tahanan tersebut juga berfungsi untuk menggerakkan turbin angin tersebut. Untuk menghitung tahanan angin yang bekerja pada turbin angin dilakukan dengan menggunakan metode simulasi menggunakan software CFD. Spesifikasi komputer yang digunakan untuk melakukan simulasi tersebut adalah sebagai berikut:

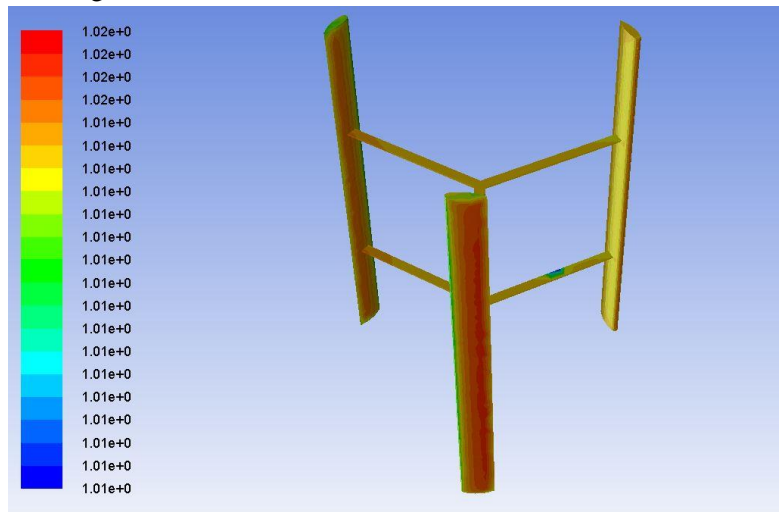
Merk : Hewlett-Packard
 Model : HP Z240 Tower Workstation
 Processor : Intel® Core™ i7-6700 CPU
 @3,40GHz (8CPUs)
 Memory : 8192 MB RAM

Sebelum melakukan simulasi tersebut, dilakukan penggambaran turbin angin yang akan disimulasikan dengan menggunakan software SOLIDWORK. Turbin angin yang digambarkan ada 2 jenis sesuai dengan jenis turbin angin yang diperoleh dari hasil optimasi pada tahapan sebelumnya. Dimensi dari turbin angin yang digambarkan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel IV.31 Spesifikasi turbin angin

Merk	WindStar	WindStar
Model	Aeolos V 3KW	Aeolos V 10KW
Panjang (m)	3	6,5
Diameter (m)	2,4	5
Jumlah Bilah	3	3

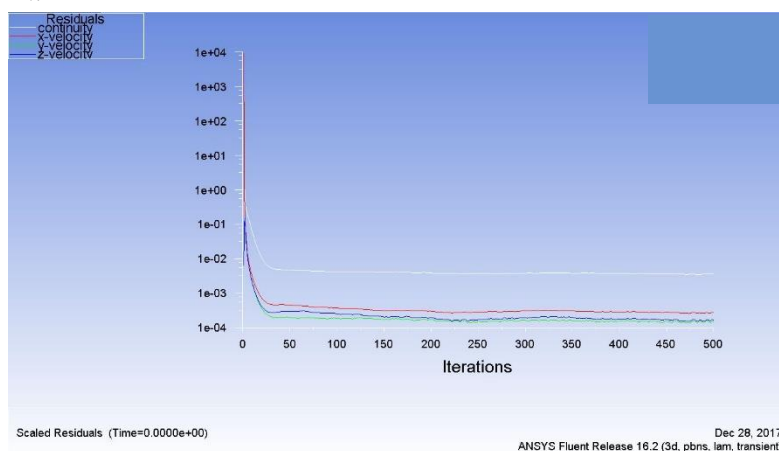
Simulasi untuk mengetahui tahanan angin yang dimiliki oleh kedua turbin angin tersebut menggunakan software CFD yang berfungsi untuk mengecek total force yang diterima oleh turbin angin. Simulasi tersebut masing – masing dilakukan dengan melakukan sebanyak 500 iterasi untuk diperoleh hasil yang paling optimal dimana kurva hasil yang diperoleh sudah konvergen yang menunjukkan data hasil simulasi tidak berubah – ubah lagi.



Gambar IV.9 Hasil simulasi Aeolos-V 3KW

(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain, 2017)

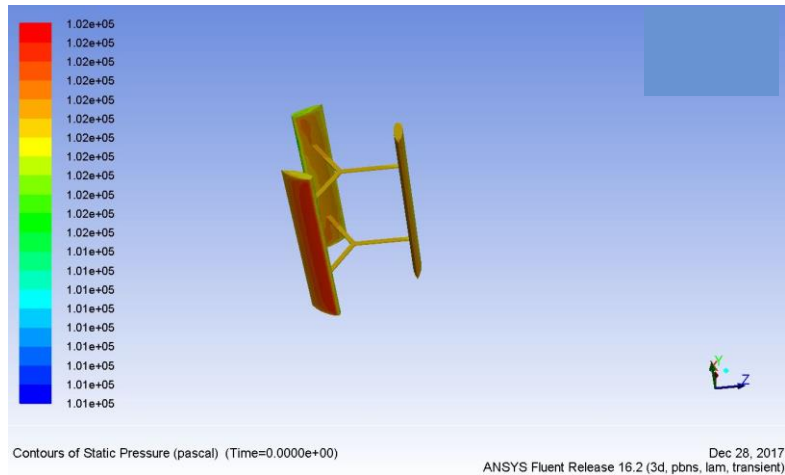
Gambar IV.9 menunjukkan hasil simulasi untuk turbin angin WindStar Aeolos V 3KW dimana hasilnya turbin angin jenis tersebut memiliki tahanan angin sebesar 63,194359 N.



Gambar IV.10 Grafik hasil simulasi Aeolos-V 3KW

(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain, 2017)

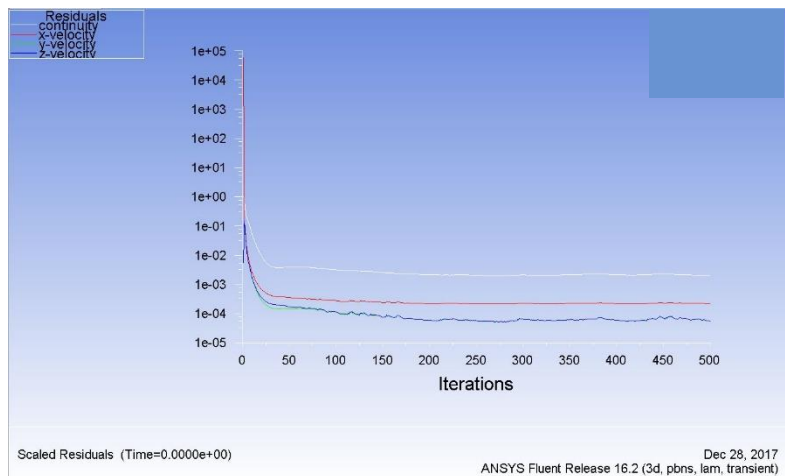
Gambar IV.10 menunjukkan hasil grafik hasil simulasi untuk turbin angin WindStar Aeolos V 3KW pada setiap iterasinya. Melalui grafik tersebut dapat diketahui bahwa grafik telah bersifat konvergen dimana grafik telah memiliki bentuk yang tetap dan hasilnya tidak berubah – ubah secara drastis sehingga dapat dikatakan hasil simulasi yang dilakukan telah sesuai.



Gambar IV.11 Hasil simulasi Aeolos-V 10KW

(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain,2017)

Gambar IV.11 menunjukkan hasil simulasi untuk turbin angin WindStar Aeolos V 10KW dimana hasilnya turbin angin jenis tersebut memiliki tahanan angin sebesar 875,8197 N.

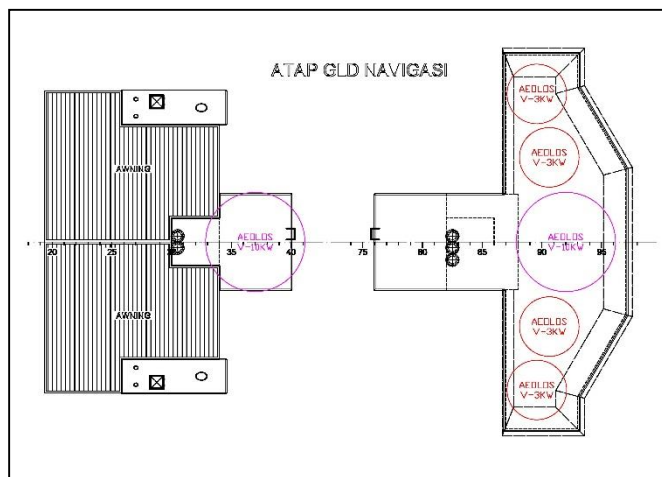


Gambar IV.12 Grafik hasil simulasi Aeolos-V 10KW

(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain,2017)

Gambar IV.12 menunjukkan hasil grafik hasil simulasi untuk turbin angin WindStar Aeolos V 10KW pada setiap iterasinya. Melalui grafik tersebut dapat diketahui bahwa grafik telah bersifat konvergen dimana grafik telah memiliki bentuk yang tetap dan hasilnya tidak berubah – ubah secara drastis sehingga dapat dikatakan hasil simulasi yang dilakukan telah sesuai.

Sehingga untuk tahanan total dari turbin angin yang diperoleh berdasarkan hasil optimasi yaitu 4 turbin angin jenis Aeolos V 3KW dan 2 turbin angin jenis Aeolos V 10KW memiliki tahanan total sebesar 2,004416836 KN. Dengan konfigurasi peletakan ditunjukkan oleh gambar IV.9.

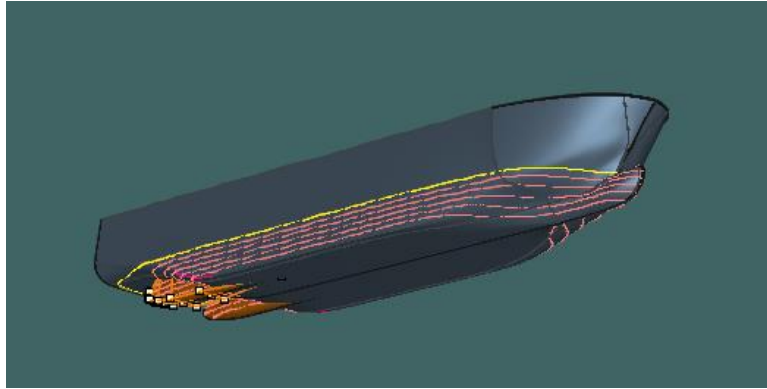


Gambar IV.13 Hasil optimasi pemilihan turbin angin

(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain, 2017)

4.12 Analisa Tahanan Kapal

Tahanan kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal yang berlawanan dengan arah gerakan kapal. Hambatan tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal (Harvald, 1983). Perhitungan tahanan kapal diperlukan untuk mengetahui total daya mesin utama kapal yang harus disediakan agar kapal dapat berjalan dengan kecepatan dinasnya.



Gambar IV.14 Model kapal

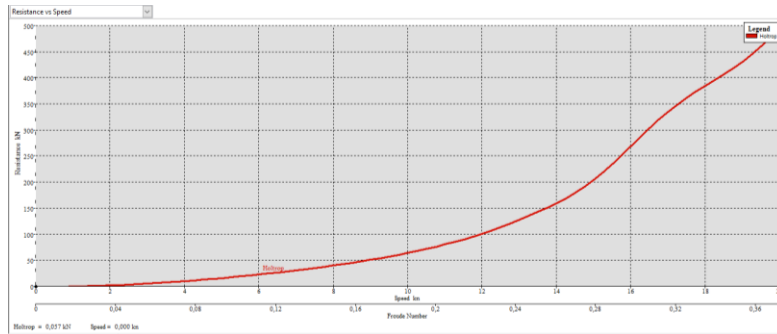
(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain, 2017)

Dalam analisa tahanan kapal ini, dilakukan analisa untuk menghitung tahanan kapal akibat penambahan tahanan angin yang dimiliki oleh turbin angin yang dipasang. Untuk menganalisa tahanan yang dimiliki oleh kapal ro-ro ferry 2000 GT ini, dilakukan dengan menggunakan software MAXSURF Resistance Versi 21.10.00.39. Tahanan kapal ini dihitung dengan menggunakan metode holtrop. Dari hasil perhitungan, untuk tahanan air kapal saat sarat kapal penuh adalah sebesar 205,4 KN dan setelah penambahan tahanan angin dari turbin angin, tahanan kapal menjadi sebesar 207,4044 KN.

Tabel IV.32 Tahanan pada setiap kecepatan

Speed (Knot)	Holtrop Resistance (KN)	Holtrop Power (KW)
0	--	--
0,5	0,2	0,053
1	0,8	0,394
1,5	1,7	1,282
2	2,9	2,972
2,5	4,4	5,717
3	6,3	9,761
3,5	8,5	15,339
4	11	22,674
4,5	13,8	31,977
5	16,9	43,45
5,5	20,2	57,291
6	23,9	73,695

Speed (Knot)	Holtrop Resistance (KN)	Holtrop Power (KW)
6,5	27,8	92,875
7	32	115,072
7,5	36,4	140,581
8	41,3	169,779
8,5	46,5	203,156
9	52,1	241,343
9,5	58,3	285,148
10	65,2	335,567
10,5	72,9	393,836
11	81,5	461,348
11,5	91,2	539,642
12	102,3	631,299
12,5	114,9	739,025
13	129	862,502
13,5	144	1000,306
14	160,7	1157,317
14,5	180,6	1347,002
15	205,4	1585,262
15,5	235,8	1880,333
16	270,1	2223,306
16,5	304,8	2587,407
17	336,4	2941,616
17,5	363,1	3269,352
18	386,2	3576,584
18,5	408,3	3886,354
19	432,6	4228,867
19,5	462	4635,077
20	499,1	5135,015



Gambar IV.15 Kurva tahanan holtrop

(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain, 2017)

4.13 Perhitungan Daya Main Engine

Untuk mengetahui perbandingan daya mesin utama kapal antara kapal dengan tahanan kapal awal dan tahanan kapal baru yang dihitung saat kecepatan dinas sebesar 15 knot ditunjukkan oleh tabel IV.33 berikut ini.

Tabel IV.33 Perhitungan daya

Jenis Daya (HP)	Daya Mesin Lama	Daya Mesin Baru
Effective Horse Power (EHP)	2125,522	2146,264
Delivery Horse Power (DHP)	3542,537	3577,107
Shaft Horse Power (SHP)	3614,833	3650,109
Break Horse Power (BHP)	3688,606	3724,601
Service Continuous Rating (SCR)		
Break Horse Power (BHP)	4339,536	4381,884
Maximum Continuous Rating (MCR)		

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka dapat diketahui persentase kenaikan daya mesin utama kapal adalah sebesar 0,97586%. Dengan persentase kenaikan daya main engine yang kecil tersebut, maka tidak perlu dilakukan penambahan daya main engine karena pada kondisi service continuous rating (SCR), daya main engine masih memiliki margin daya sebesar 28,37305% dan pada kondisi maximum continuous rating (MCR), daya main engine masih memiliki margin daya sebesar 15,733%.

4.14 Perhitungan Penurunan Kecepatan Kapal

Penurunan kecepatan kapal dapat dihitung dengan membandingkan EHP yang dihasilkan dari perhitungan daya mesin utama lama kapal dengan tahanan total baru setelah adanya penambahan tahanan angin akibat turbin angin. Berdasarkan hasil

perhitungan tersebut dapat diketahui kecepatan kapal baru menjadi 7,642094 m/s atau 14,85501 knot dimana terdapat penurunan sebesar 0,144992 knot dengan persentasi penurunan kecepatan kapal sebesar 0,966615%.

Dari hasil perhitungan tersebut, terdapat penurunan kecepatan kapal sebesar 0,966615%. Tetapi jika membandingkan dengan hasil perhitungan break horse power (BHP) saat kondisi maximum continuous rating (MCR) daya mesin utama kapal saat kecepatan dinas 15 knot masih memiliki margin daya sebesar 15,733%. sehingga dengan memanfaatkan kelebihan daya tersebut, kapal masih dapat berjalan dengan kecepatan dinasnya sebesar 15 knot.

4.15 Analisa Stabilitas Kapal

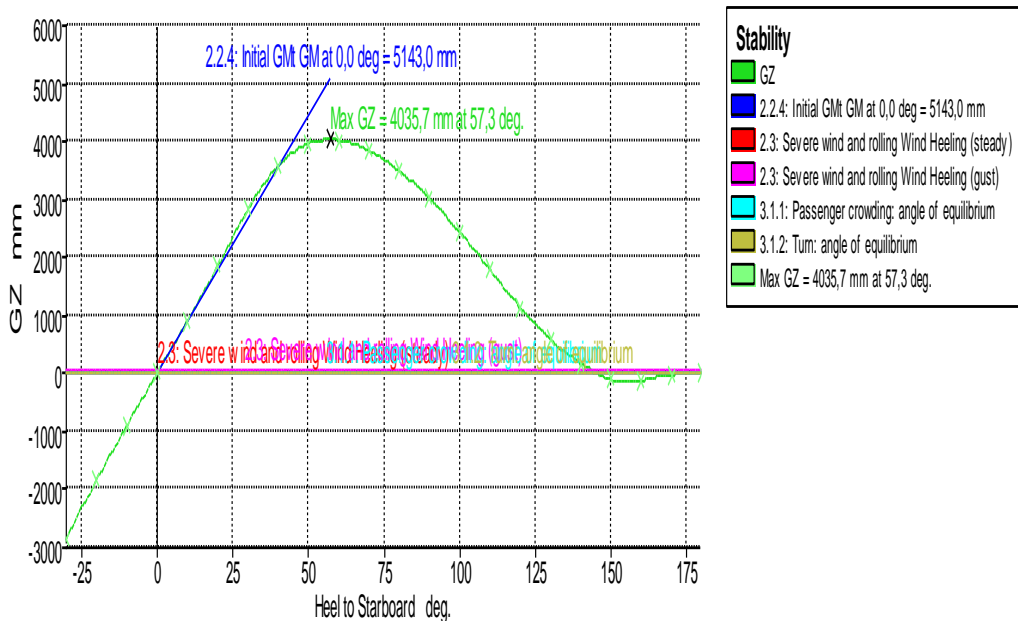
Stabilitas kapal merupakan kemampuan yang dimiliki oleh setiap kapal untuk mempertahankan posisinya ketika mengalami oleng akibat gerakan kapal dan gelombang laut. Kapal yang memiliki stabilitas yang baik akan dapat mengatasi guncangan dengan baik dan tetap memberikan kenyamanan kepada penumpang, sedangkan kapal yang tidak memiliki stabilitas yang baik akan dapat menyebabkan ketidaknyamanan kepada penumpang bahkan dapat menyebabkan kapal tenggelam.

Analisa stabilitas pada kapal perintis 2000 GT ini dilakukan dengan melakukan simulasi pada software MAXSURF Stability Versi 21.10.00.39. Untuk melakukan analisa stabilitas kapal terlebih dahulu dilakukan membuat tabel loadcase yang berisi jenis peralatan yang dilengkapi dengan jumlah, massa, dan peletakannya secara longitudinal, transversal, dan vertikal di kapal. Kemudian berdasarkan tabel loadcase tersebut akan dilakukan simulasi untuk melihat gerakan kapal saat oleng hingga kembali ke posisinya semula. Tabel IV.34 menunjukkan tabel loadcase yang akan dianalisa berdasarkan model kapal yang telah dibuat.

Tabel IV.34 Loadcase stabilitas kapal

Item Name	Quantity	Unit Mass kg	Total Mass kg	Long. Arm mm	Trans. Arm mm	Vert. Arm mm
Displacement	1	2875510,0	2875510,0	36000,0	0,0	1800,0
Turbin Angin 3KW	4	106,0	424,0	55500,0	0,0	21600,0
Turbin Angin 10KW (1)	1	680,0	680,0	55500,0	0,0	21600,0
Turbin Angin 10KW (2)	1	680,0	680,0	22000,0	0,0	21600,0
Panel Surya Navigation Deck	64	25,4	1625,6	47500,0	0,0	17600,0
Panel Surya Awning Navigation	20	25,4	508,0	14000,0	0,0	17600,0
Panel Surya Awning Top Deck	40	25,4	1016,0	10000,0	0,0	15100,0
Baterai	120	104,0	12064,0	43800,0	0,0	15100,0
Berat Awak + Penumpang	380	75,0	28500,0	36000,0	0,0	9900,0
Berat Truk Besar	14	18000,0	252000,0	36000,0	0,0	5100,0
Berat Truk Kecil	16	10000,0	160000,0	36000,0	0,0	5100,0
Berat Sedan	13	1500,0	19500,0	36000,0	0,0	2550,0
Total Loadcase			3352609,2	36025,9	0,0	2351,7
FS correction						0,0
VCG fluid						2351,7

Berdasarkan tabel loadcase tersebut, akan diperoleh grafik stabilitas kapal dimana berdasarkan grafik tersebut, momen pengembalian terbesar (GZ) berada ketika kapal membentuk sudut 57,3°.



Gambar IV.16 Grafik momen pembalik (GZ)

Untuk mengetahui apakah hasil simulasi stabilitas tersebut telah memenuhi standar keselamatan IMO (International Maritime Organization), dapat dilakukan simulasi dengan memilih kriteria stabilitas yang disyaratkan oleh IMO. Berdasarkan hasil simulasi, stabilitas yang dimiliki oleh kapal perintis 2000 GT ini telah memenuhi standar minimum stabilitas yang disyaratkan oleh IMO. Tabel IV.35 menunjukkan tabel hasil simulasi standar IMO.

Tabel IV.35 Hasil simulasi stabilitas kapal

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: IMO roll back angle	18,6	deg			
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30	3151,30	mm.deg	41621,03	Pass	+1220,76
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40	5156,60	mm.deg	73869,40	Pass	+1332,52
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 30 to 40	1718,90	mm.deg	32248,37	Pass	+1776,10
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater	200,0	mm	4036,0	Pass	+1918,00
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	57,3	Pass	+129,09
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.4: Initial GMt	150,0	mm	5143,0	Pass	+3328,67
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (\leq)	16,0	deg	0,4	Pass	+97,37
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (\leq)	80,00	%	2,06	Pass	+97,43
	Area1 / Area2 shall not be less than (\geq)	100,00	%	675,80	Pass	+575,80
3.1 Passenger Ships	3.1.1: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,0	Pass	+100,00
3.1 Passenger Ships	3.1.2: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,0	Pass	+100,00

4.16 Perhitungan Penghematan Bahan Bakar

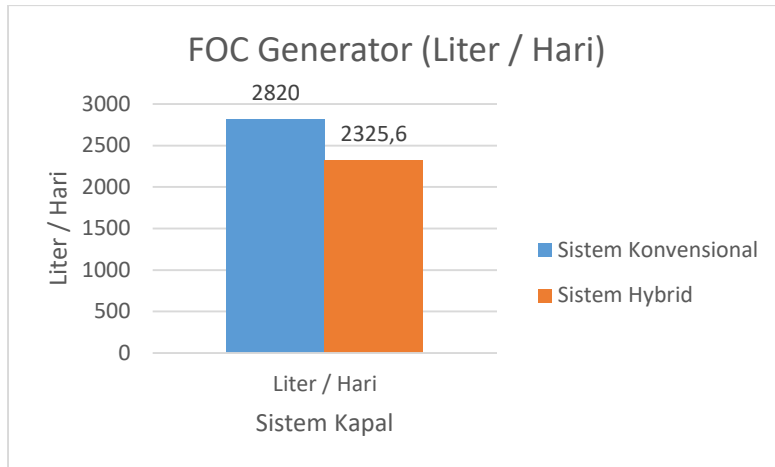
Berdasarkan konfigurasi ulang sistem kelistrikan di kapal Perintis 2000GT yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya, selanjutnya kita dapat menghitung penghematan bahan bakar yang kita peroleh dari sistem kelistrikan konvensional yang menggunakan generator dengan sistem kelistrikan hybrid yang menggunakan generator, panel surya, dan turbin angin. Bahan bakar yang digunakan untuk generator utama adalah solar dengan harga 5250 rupiah/liter.

Konsumsi bahan bakar untuk sistem konvensional adalah sebesar 1029300 liter/tahun dengan total biaya operasional pembelian bahan bakar sebesar 5,404 miliar/tahun dan konsumsi bahan bakar untuk sistem hybrid adalah sebesar 848844 liter/tahun dengan total biaya operasional pembelian bahan bakar sebesar 4,456 miliar/tahun. Persentase penghematan bahan bakar yang dapat diperoleh dengan pemanfaatan sistem kelistrikan hybrid yang menggunakan generator, panel surya, dan turbin angin adalah sebesar 17.53%. Tabel IV.31 menunjukkan jumlah konsumsi bahan bakar dan total biaya operasional pembelian bahan bakar.

Tabel IV.36 Fuel Oil Consumption

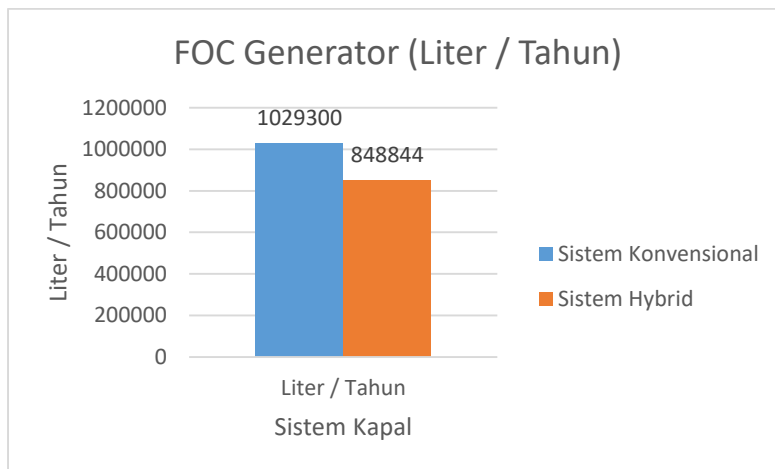
Parameter	Sistem Konvensional	Sistem Hybrid	Selisih	Persentase
FOC Generator				
Liter / Hari	2820	2325,6	494,4	17,53
Liter / Tahun	1029300	848844	180456	
IDR / Tahun	5403825000	4456431000	947394000	

Grafik IV.18 menunjukkan konsumsi bahan bakar generator dalam liter per hari. Selisih konsumsi bahan bakar generator Antara kedua sistem tersebut adalah sebesar 494,4 liter / hari.



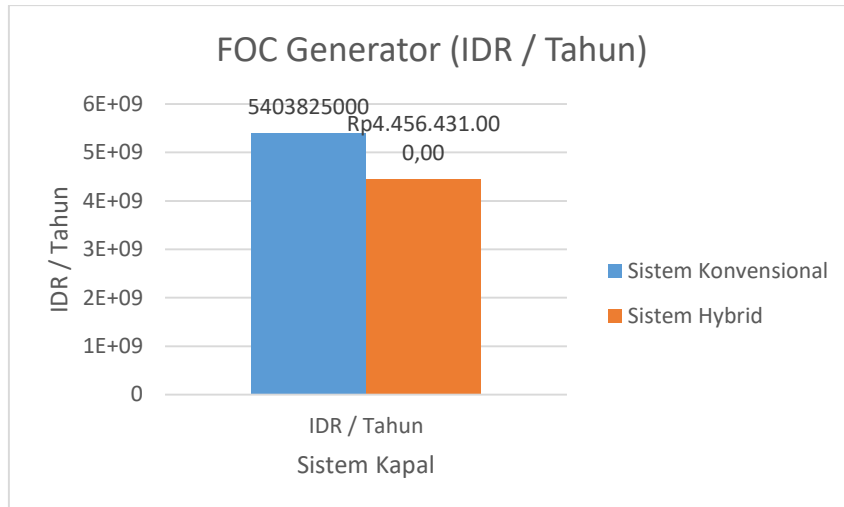
Grafik IV.18 FOC Generator 1

Grafik IV.19 menunjukkan konsumsi bahan bakar generator dalam liter per tahun. Selisih konsumsi bahan bakar generator Antara kedua sistem tersebut adalah sebesar 180456 liter / tahun.



Grafik IV.19 FOC Generator 2

Grafik IV.20 menunjukkan konsumsi bahan bakar generator dalam rupiah per tahun. Selisih konsumsi bahan bakar generator Antara kedua sistem tersebut adalah sebesar 947394000 rupiah / tahun.



Grafik IV.20 Biaya Bahan Bakar Generator

4.17 Perhitungan Payload

Payload merupakan muatan maksimal yang mampu diangkut oleh kapal. Payload menjadi hal utama dalam operasional kapal komersial karena payload merupakan komponen yang menjadi pemasukan bagi pemilik dan operator kapal. Dalam penelitian ini, dengan adanya penambahan turbin angin dan panel surya, menyebabkan payload kapal berkurang karena pada saat sarat muatan penuh displacement kapal akan selalu sama.

Untuk mengetahui seberapa ekonomisnya sistem ini diaplikasikan maka perlu dilakukan perhitungan payload yang berkurang akibat penambahan massa ini. Perhitungan payload tersebut adalah sebagai berikut:

- i. Perhitungan displacement kapal

$$\begin{aligned}
 \Delta &= L_{wl} \times B \times T \times C_b \times \rho \\
 &= 74,16 \times 15,2 \times 3,6 \times 0,695 \times 1,025 \\
 &= 2890,843 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

- ii. Perhitungan berat baja

Dalam menghitung berat baja kapal dapat menggunakan rumus pendekatan yang diambil dari buku *Ship Design And Construction* (The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2003). Watson dan Gilfillan menawarkan model pendekatan yang efektif dengan menggunakan modifikasi yang spesifik dari Lloud's Equipment Numeral (E).

$$\begin{aligned}
 E &= E_{hull} + E_{ss} + E_{dh} \\
 &= L(B+T) + 0,85 L(D-T) + 0,85 \sum L_h + 0,85 \sum L_{h'}
 \end{aligned}$$

$$= 1985,78$$

$$\begin{aligned} Cb' &= Cb + (1-Cb) ((0,8 D-T)/3T) \\ &= 0,695 + (1-0,695) ((0,8 \times 5,1 - 3,6)/3 \times 3,6) \\ &= 0,708556 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_s &= K \times E^{1,36} \\ &= 0,031 \times 1984,78^{1,36} \\ &= 777,903 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Untuk mengetahui nilai dari koefisien berat struktur untuk berbagai macam kapal dapat diperoleh dari tabel berikut ini.

Tabel IV.37 Koefisien berat struktur kapal

<i>Ship type</i>	<i>K mean</i>	<i>K range</i>	<i>Range of E</i>
Tankers	0.032	±0.003	1500 < E < 40 000
Chemical tankers	0.036	±0.001	1900 < E < 2500
Bulk carriers	0.031	±0.002	3000 < E < 15 000
Container ships	0.036	±0.003	6000 < E < 13 000
Cargo	0.033	±0.004	2000 < E < 7000
Refrigerator ships	0.034	±0.002	4000 < E < 6000
Coasters	0.030	±0.002	1000 < E < 2000
Offshore supply	0.045	±0.005	800 < E < 1300
Tugs	0.044	±0.002	350 < E < 450
Fishing trawlers	0.041	±0.001	250 < E < 1300
Research vessels	0.045	±0.002	1350 < E < 1500
RO-RO ferries	0.031	±0.006	2000 < E < 5000
Passenger ships	0.038	±0.001	5000 < E < 15 000
Frigates/corvettes	0.023		

iii. Perhitungan berat permesinan

Dalam menghitung berat permesinan dapat menggunakan rumus pendekatan yang diambil dari buku Ship Design And Construction (The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2003). Dalam perhitungan estimasi berat permesinan ini, Watson dan Gilfillan menawarkan pemisahan antara berat mesin utama kapal dan berat permesinan lainnya.

$$W_{ME} = \sum 12,0 (MCR / N)^{0,84}$$

$$= 12 \times (3877,639/750)^{0,84}$$

$$= 47,7 \text{ Ton}$$

$$W_{\text{rem}} = C_m (\text{MCR})^{0,70}$$

$$= 0,83 \times (3877,639)^{0,70}$$

$$= 269,8207 \text{ Ton}$$

$$C_m = 0,69 \quad \text{Bulk carriers, cargo vessels, and container ship}$$

$$= 0,72 \quad \text{Tankers}$$

$$= 0,83 \quad \text{Passenger vessels and ferries}$$

$$= 0,19 \quad \text{Frigates and corvettes}$$

$$W_m = W_{\text{ME}} + W_{\text{rem}}$$

$$= 47,7 + 269,8207$$

$$= 317,5216 \text{ Ton}$$

iv. Perhitungan berat outfitting

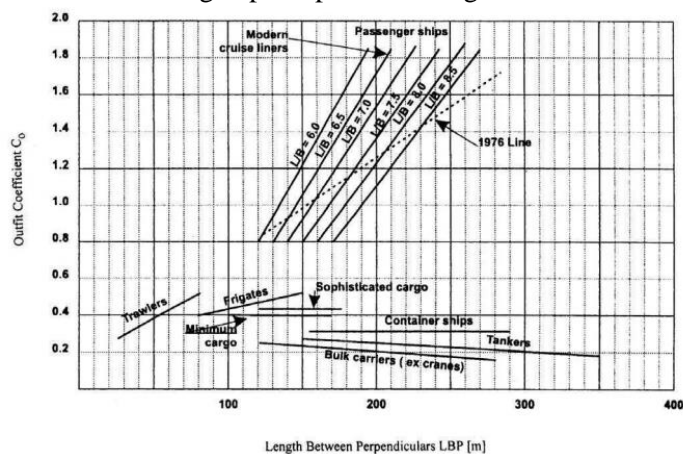
Dalam menghitung berat outfitting dapat menggunakan rumus pendekatan yang diambil dari buku Ship Design And Construction (The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2003).

$$W_o = C_o \times L \times B$$

$$= 0,452 \times 72 \times 15,2$$

$$= 494,668 \text{ Ton}$$

Nilai dari koefisien outfitting dapat diperoleh dari grafik berikut ini.



Grafik IV.21 Koefisien outfitting

v. Perhitungan dead weight tonnage (DWT)

$$\begin{aligned}
 \text{DWT} &= \text{Displacement} - \text{LWT} \\
 &= 2890,843 - (777,903 + 317,5216 + 494,6688) \\
 &= 1300,75 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

vi. Perhitungan massa consumable

Massa consumable merupakan massa yang berupa barang-barang yang dikonsumsi baik oleh kapal maupun oleh awak dan penumpang. Massa consumable dapat diketahui dari buku spesifikasi teknis kapal perintis 2000 GT (Direktorat Jendral Perhubungan Darat, 2015). Tabel massa consumable kapal perintis 2000 GT adalah sebagai berikut:

Tabel IV.38 Daftar massa consumable

No	Jenis	Total	Satuan
1	Bahan Bakar	84	Ton
2	Air Tawar	84	Ton
3	Ballast	162	Ton
4	Minyak Pelumas	7	Ton
5	Bilga	5	Ton
6	Minyak Kotor	5	Ton
Total		347	Ton

vii. Perhitungan payload

$$\begin{aligned}
 \text{Payload} &= \text{DWT} - \text{Massa Consumable} \\
 &= 1300,75 \text{ Ton} - 347 \text{ Ton} \\
 &= 953,7495 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

Total komponen – komponen sistem hybrid yang menggunakan turbin angin dan panel surya adalah 17,22 ton dan selisih berat generator setelah dilakukan konfigurasi ulang sistem kelistrikan di kapal adalah 2,709 ton. Payload kapal akibat penambahan turbin angin dan panel surya menjadi 938,82 ton. Persentase pengurangan payload kapal akibat penambahan turbin angin dan panel surya adalah 1,564939%.

4.18 Perhitungan Break Even Point

Break Even Point (BEP) adalah suatu keadaan dimana perusahaan tidak mengalami kerugian dan tidak mendapat laba sehingga terjadi keseimbangan atau impas. (Syafaruddin, 1990). Dalam perhitungan BEP terlebih dahulu dilakukan perhitungan untuk biaya investasi awal yang mencakup turbin angin, panel surya, generator, inverter,

charger baterai, dll dan juga perhitungan biaya operasional dan maintenance yang mencakup biaya pembelian bahan bakar, biaya maintenance generator, biaya maintenance turbin angin, biaya maintenance panel surya, dll. Tabel IV.1 menunjukkan perhitungan biaya investasi dan biaya operasional untuk sistem kelistrikan konvensional menggunakan generator.

Tabel IV.39 Total Biaya Sistem Konvensional

Initial Cost			
Type	Unit	Harga per Unit (IDR)	Harga Total (IDR)
Generator			
Caterpillar 3412C TA	1	1176933648,45	1176933648,45
Operational Cost			
Generator			
Bahan Bakar (Solar)	1029300	5250	5403825000,00
Maintenance Cost			
Generator	1	549275675,13	549275675,13
Total Harga			
7130034323,58			

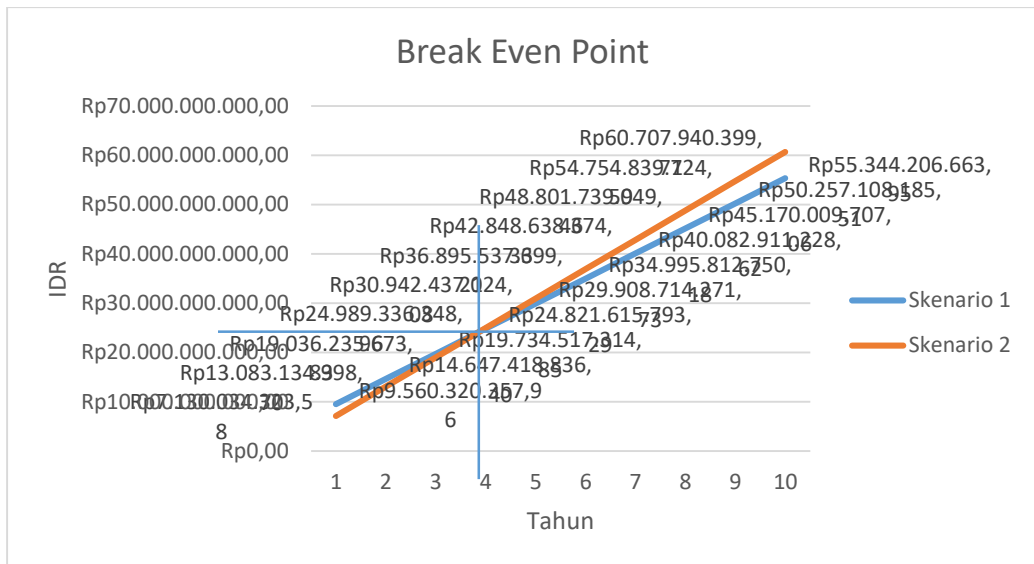
Tabel IV.2 menunjukkan perhitungan biaya investasi dan biaya operasional untuk sistem kelistrikan baru yang dirancang menggunakan generator, panel surya dan turbin angin.

Tabel IV.40 Total Biaya Sistem Hybrid

Initial Cost			
Type	Unit	Harga per Unit (IDR)	Harga Total (IDR)
Generator			
Caterpillar C18	1	662162161,50	662162161,50
Aeolos V 3KW	4	78648648,57	314594594,28
Aeolos V 10KW	2	218918918,7	437837837,40
Sun Power E20-435-COM	124	5675676	703783783,08
Baterai Turbin Angin	68	17554054	1193675674
Baterai	52	17554054	912810809,9

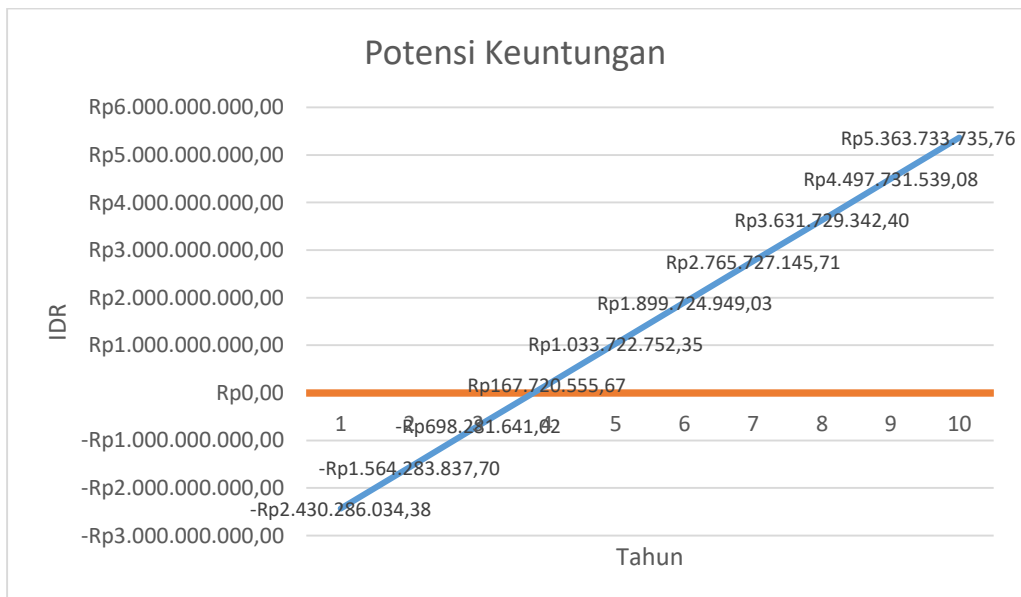
Initial Cost			
Type	Unit	Harga per Unit (IDR)	Harga Total (IDR)
Panel Surya			
Blue Solar Charge Controller	11	4054054,1	52841919
WindStar WS-100C X-MPPT	3	29559449	88678348
Phoenix Inverter	6	17806125	106836752
Operational Cost			
Generator			
Bahan Bakar (Solar)	848844	5250	4456431000
Maintenance Cost			
Generator	1	481089729,00	481089729,00
Panel Surya	1	47951766,44	47951766,44
Turbin Angin	1	103476963,56	103476963,56
Total Harga			
9560320357,96			

Berdasarkan hasil perhitungan biaya investasi awal, biaya operasional, dan biaya maintenance untuk sistem kelistrikan konvensional yang menggunakan generator dan sistem kelistrikan hybrid yang menggunakan generator, panel surya, dan turbin angin, dapat dihitung Break Even Point dari kedua sistem tersebut untuk mengetahui pada saat kapan nilai investasi dari sistem hybrid yang direncanakan mencapai titik keseimbangannya. Grafik IV.21 menunjukkan grafik BEP dari sistem kelistrikan hybrid yang dihitung selama 10 tahun.



Grafik IV.22 Break Even Point

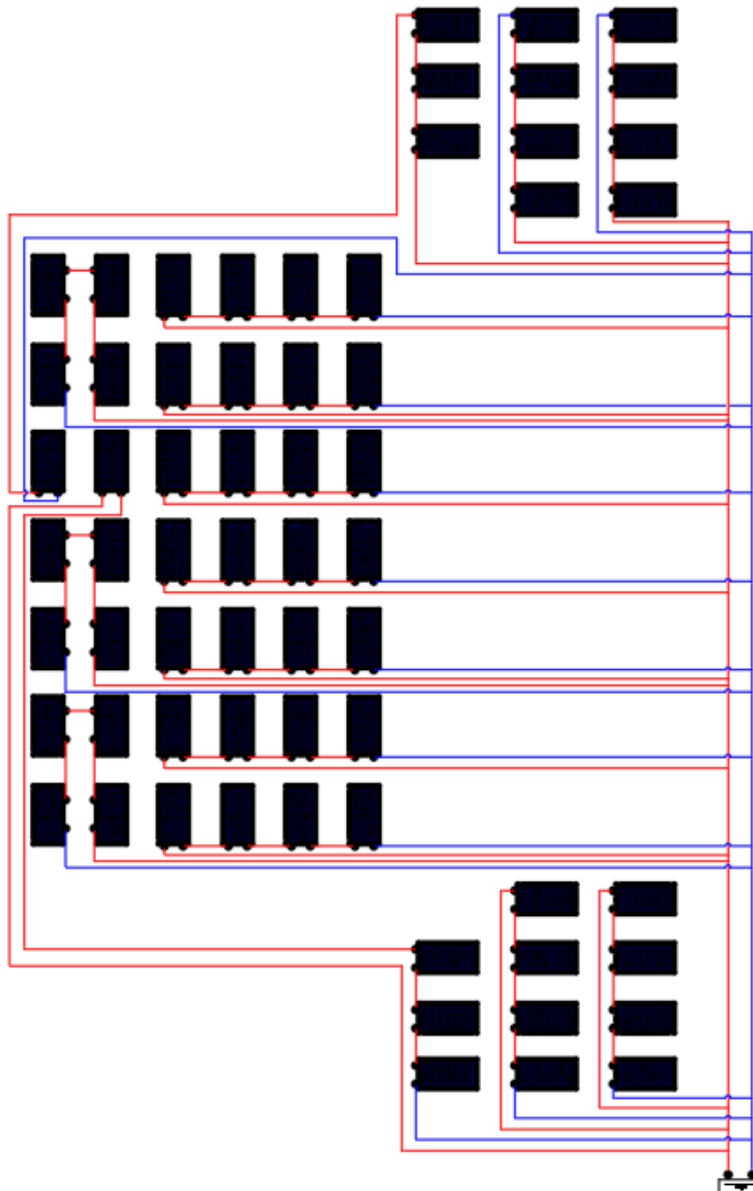
Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa BEP akan tercapai setelah 3 tahun 10 bulan sistem tersebut beroperasi. Melalui grafik yang ditampilkan tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa dengan waktu kaseimbangan break even point yang dapat dicapai setelah sistem ini beroperasi selama 3 tahun 10 bulan maka sistem tersebut layak untuk digunakan. Grafik IV.22 menunjukkan potensi keuntungan yang bisa diperoleh yang dihitung selama 10 tahun.



Grafik IV.23 Grafik potensi keuntungan

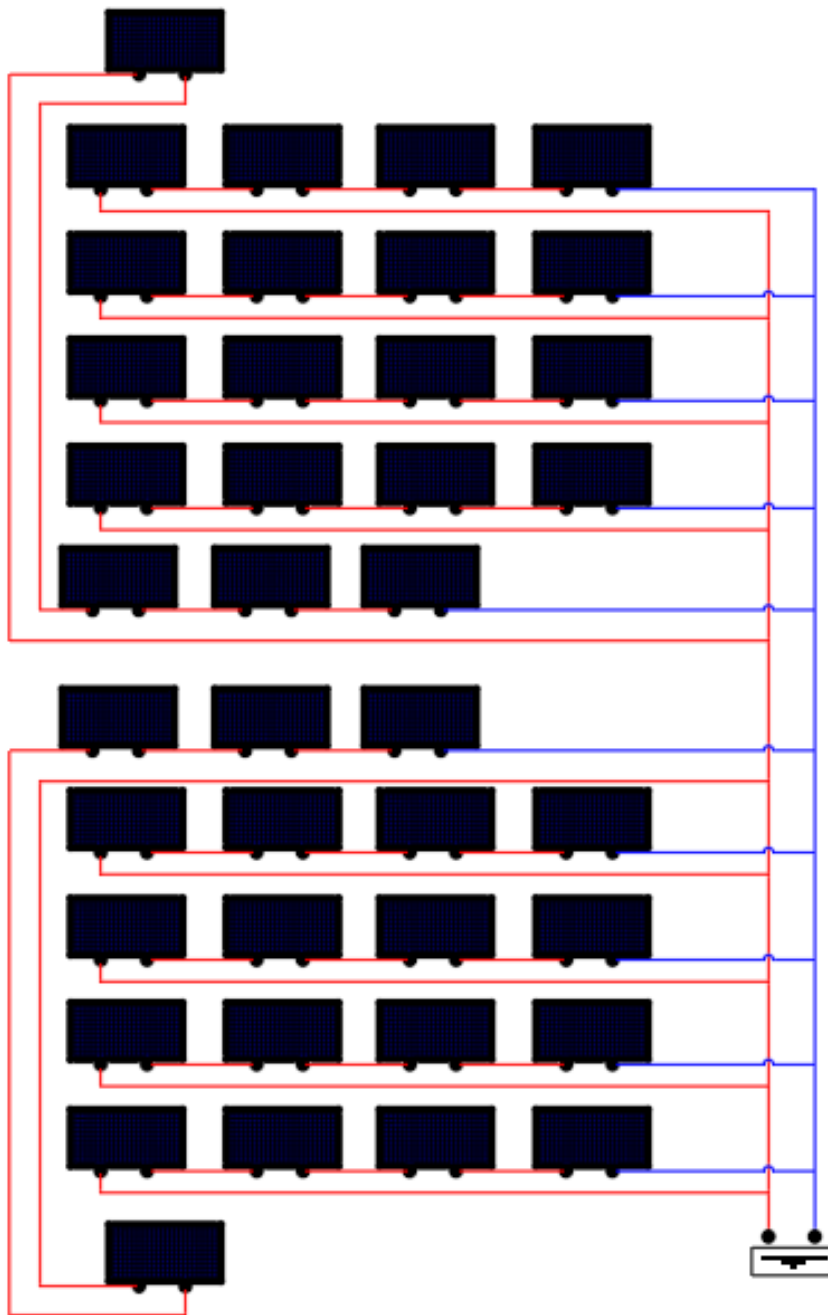
4.19 Rangkaian Instalasi Panel Surya

Rangkaian instalasi panel surya dirangkai secara seri untuk setiap 4 panel surya untuk mendapatkan tegangan charger sebesar 48 volt. Bentuk rangkaian dari panel surya di setiap penempatan adalah sebagai berikut:



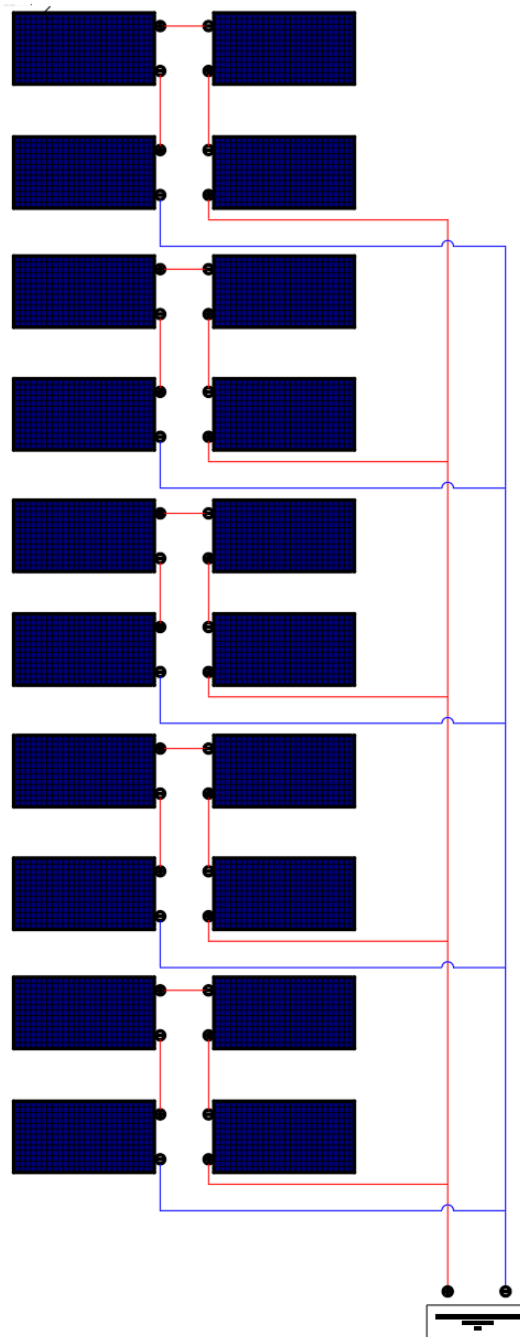
Gambar IV.17 Rangkaian panel surya navigation deck

(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain, 2017)



Gambar IV.18 Rangkaian panel surya awning top deck

(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain,2017)

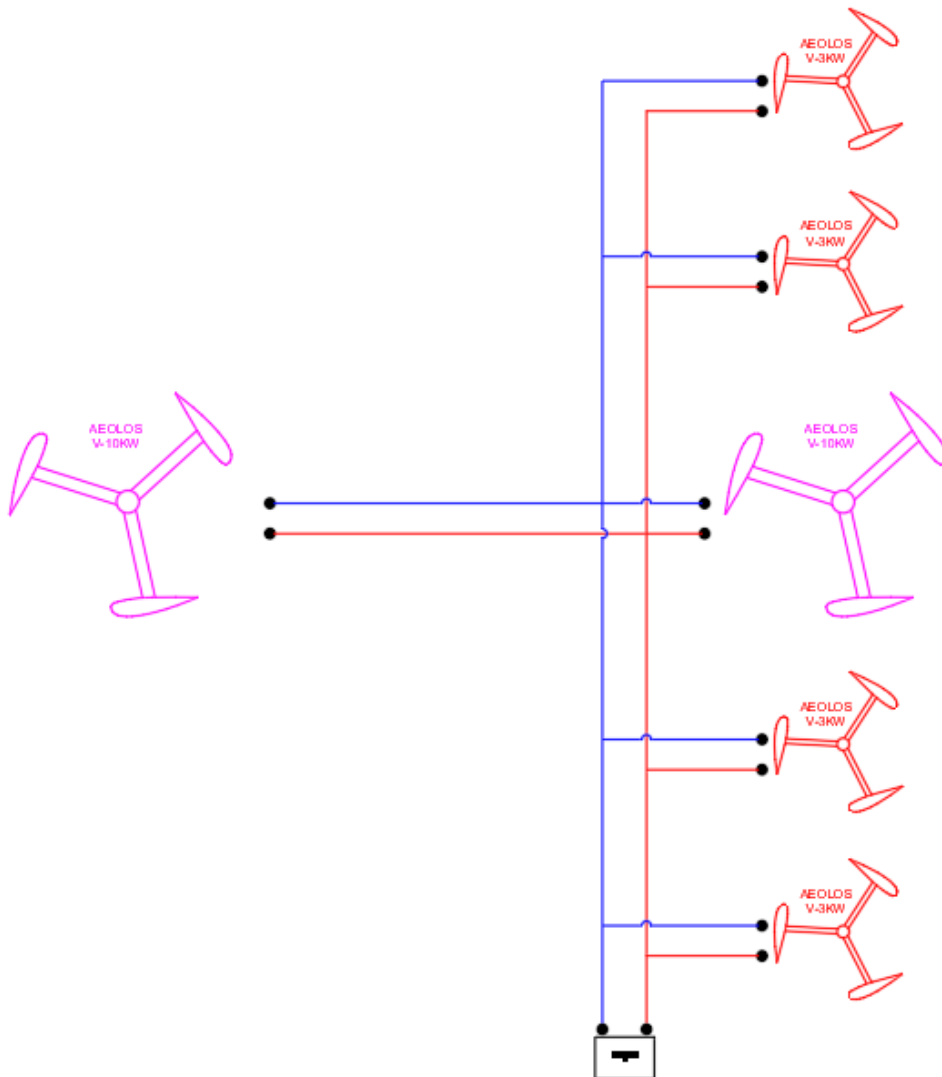


Gambar IV.19 Rangkaian panel surya awning navigation deck

(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain,2017)

4.20 Rangkaian Instalasi Turbin Angin

Turbin angin dalam menghasilkan tegangannya menghasilkan tegangan 48 volt yang telah memenuhi tegangan chargernya sehingga setiap turbin angin dirangkai secara paralel. Bentuk rangkaian dari turbin angin adalah sebagai berikut:

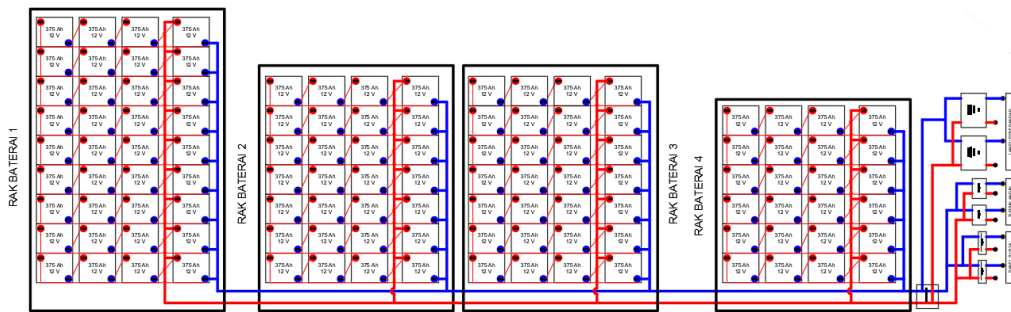


Gambar IV.20 Rangkaian turbin angin

(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain,2017)

4.21 Rangkaian Instalasi Baterai

Baterai dalam proses pengisian daya dan penyaluran daya menggunakan tegangan 48 volt yang disesuaikan dengan tegangan alat pengisi daya dan tegangan inverter. Setiap baterai yang digunakan memiliki tegangan 12 volt sehingga perlu dirangkai secara seri setiap 4 buah baterai. Bentuk rangkaian baterai adalah sebagai berikut:

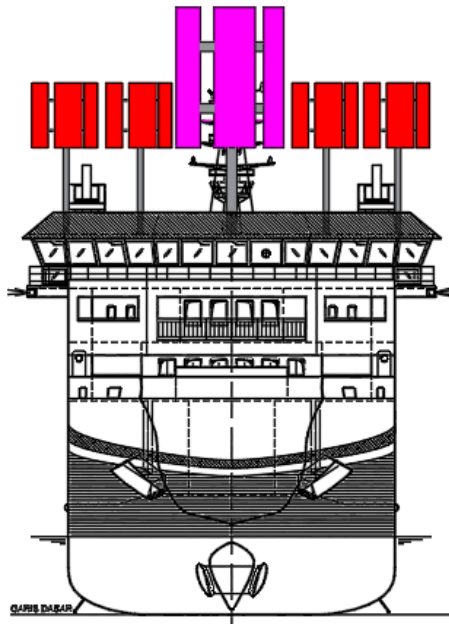


Gambar IV.21 Rangkaian baterai

(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain, 2017)

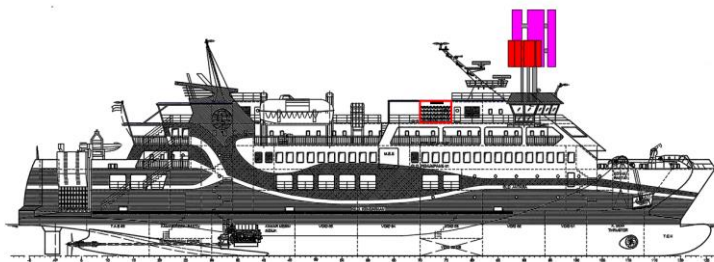
4.23 Penggambaran Key Plan

Key plan merupakan gambar rancangan yang berisi peletakan dari sebuah komponen. Dalam penelitian ini juga dilakukan penggambaran key plan untuk penempatan turbin angin, panel surya, dan baterai. Penggambaran tersebut dilakukan dalam 3 pandangan yaitu dari tampak atas, tampak samping, dan tampak depan kapal.



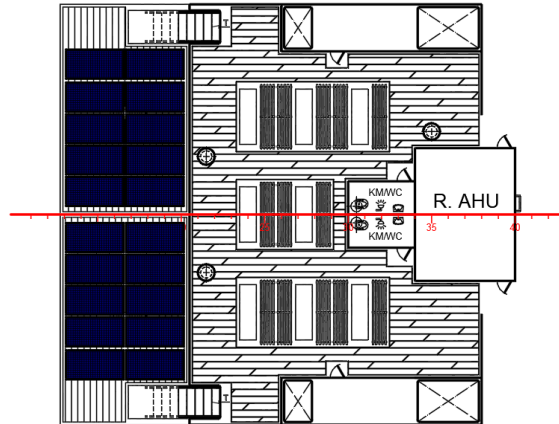
Gambar IV.22 Tampak depan kapal

(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain,2017)

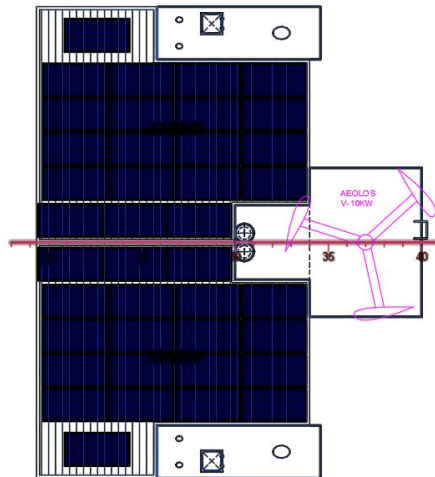


Gambar IV.23 Tampak samping kapal

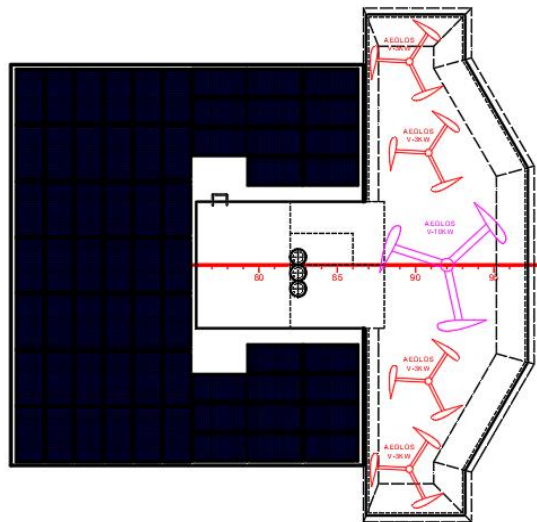
(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain,2017)



*Gambar IV.24 Tampak atas awning navigation deck
(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain,2017)*



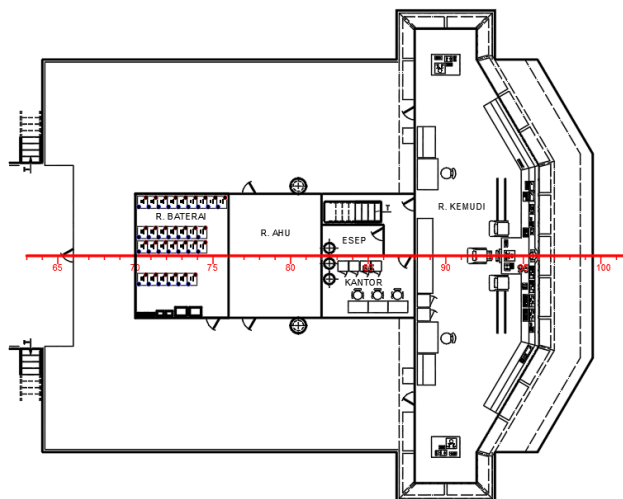
*Gambar IV.25 Tampak atas awning top deck
(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain,2017)*



Gambar IV.26 Tampak atas navigation deck

(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain,2017)

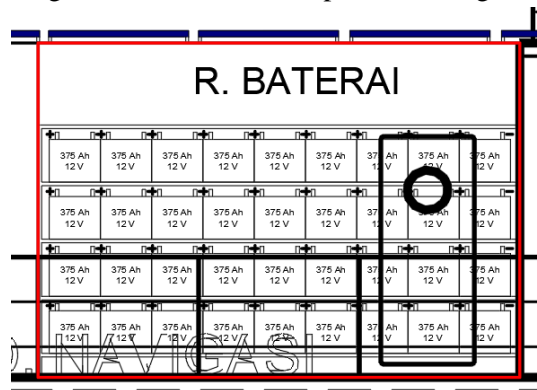
Baterai yang digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh turbin angin dan panel surya direncanakan diletakkan di navigation deck. Gambar peletakan ruang baterai ditunjukkan oleh gambar IV.22.



Gambar IV.27 Tampak atas ruang baterai

(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain,2017)

Gambar IV.27 menunjukkan gambar tampak samping dari ruang baterai yang direncanakan. Pada ruang baterai tersebut, terdapat 4 rak dengan total 120 buah baterai.



Gambar IV.28 Tampak samping ruang baterai
(Sumber: Dokumen Tugas Akhir Hutrizain, 2017)

4.24 Penentuan Daftar Bill of Quantity (BOQ)

Bill of Quantity merupakan daftar dari komponen dan peralatan yang dibutuhkan untuk membangun suatu sistem dengan tujuan untuk mempermudah mengetahui jenis dan jumlah komponen yang dibutuhkan. Bill of Quantity dari sistem turbin angin dan panel surya untuk memenuhi kebutuhan listrik lampu penerangan di kapal Perintis 2000 GT ditunjukkan oleh tabel IV.41.

Tabel IV.41 Bill of Quantity

No	Merk	Model	Jumlah	Satuan
1	Sun Power	E20-435-COM	124	Panel
2	WindStar	Aeolos-V 3KW	4	Buah
3	WindStar	Aeolos-V 10KW	2	Buah
4	Rolls Battery	12 MD 375P	120	Buah
5	Victron Energy	Blue Solar Charge Controller MPPT 150/100	11	Buah
6	WindStar	MPPT WS-100C X-MPPT	3	Buah
7	Victron Energy	Phoenix Inverter 48/5000	6	Buah

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Melalui penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil oleh penulis yaitu sebagai berikut:

1. Dari hasil analisa teknis, keseluruhan turbin angin dapat menghasilkan daya sebesar 17,42 kW.
2. Dari hasil analisa teknis, keseluruhan panel surya dapat menghasilkan daya sebesar 53,94 kW. Dengan total daya 27,84 kW pada navigation deck, 8,7 kW pada awning navigation deck, dan 17,40 kW pada awning top deck.
3. Total panel surya Sun Power E20-435-COM yang dapat diaplikasikan di kapal berjumlah 124 panel, total turbin angin WindStar Aeolos-V 3KW yang dapat diaplikasikan di kapal berjumlah 4 buah, dan total turbin angin WindStar Aeolos-V 10KW yang dapat diaplikasikan di kapal berjumlah 2 buah.
4. Total biaya investasi yang dibutuhkan untuk mengaplikasikan sistem panel surya, turbin angin, dan generator baru di kapal adalah Rp. 4.473.221.879,52. Total biaya operasional per tahunnya yang dibutuhkan untuk menjalankan sistem panel surya, turbin angin, dan generator baru adalah Rp. 4.456.431.000,00. Total biaya perawatan per tahunnya yang dibutuhkan untuk merawat sistem panel surya, turbin angin, dan generator baru adalah Rp. 630.667.478,44.
5. Dengan adanya pengurangan daya generator menyebabkan konsumsi bahan bakar minyak juga berkurang. Persentase penurunan konsumsi bahan bakar minyak tersebut adalah sebesar 17,53% per tahunnya.
6. Titik keseimbangan break even point dapat diraih setelah 3 tahun 10 bulan sistem ini beroperasi.

Berdasarkan hasil analisa teknis dan ekonomis yang telah dilakukan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan sistem panel surya dan turbin angin untuk memenuhi kebutuhan lampu penerangan di kapal perintis 2000 GT sangat memungkinkan karena dapat mengurangi konsumsi bahan bakar sebesar 17,53% per tahunnya dan jangka waktu titik keseimbangan break even point dapat tercapai hanya dalam waktu 3 tahun 10 bulan.

5.2 Saran

Setelah melakukan analisa teknis dan ekonomis penggunaan turbin angin dan panel surya di kapal perintis 2000 GT, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan oleh penulis yaitu sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pemilihan panel surya dan turbin angin dengan menggunakan metode optimasi lainnya sehingga hasil yang diperoleh untuk optimasi akan lebih akurat.
2. Perlu dilakukan analisa lebih lanjut mengenai manajemen waktu penggunaan daya yang dihasilkan oleh turbin angin dan panel surya.
3. Dapat dilakukan penelitian lebih lanjut tentang rute pelayaran yang paling optimum sehingga daya yang dihasilkan oleh turbin angin dan panel surya lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

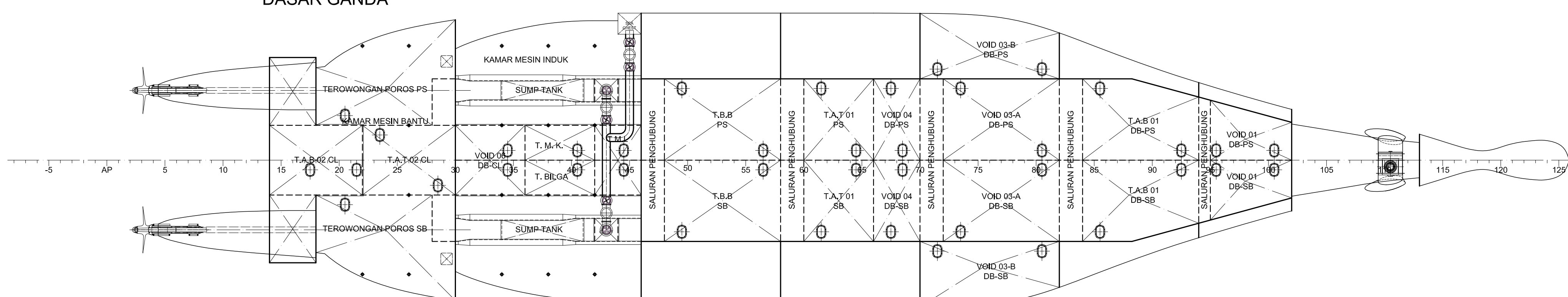
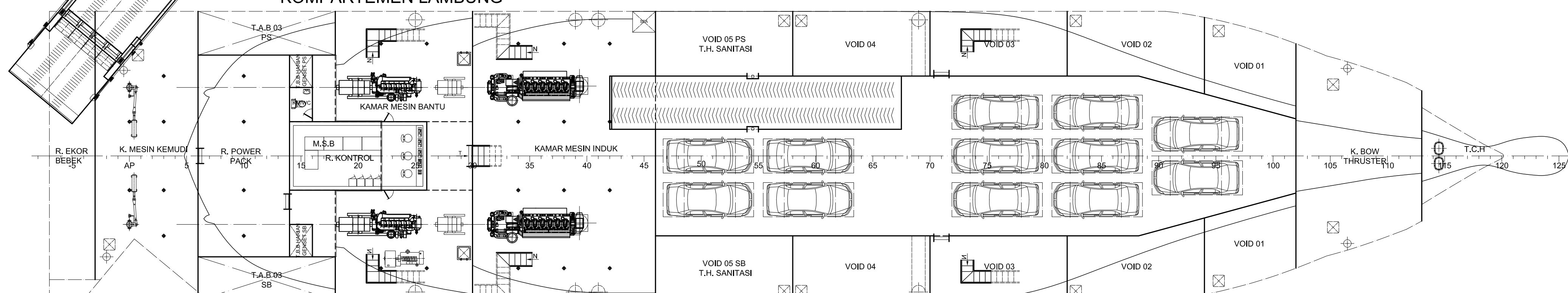
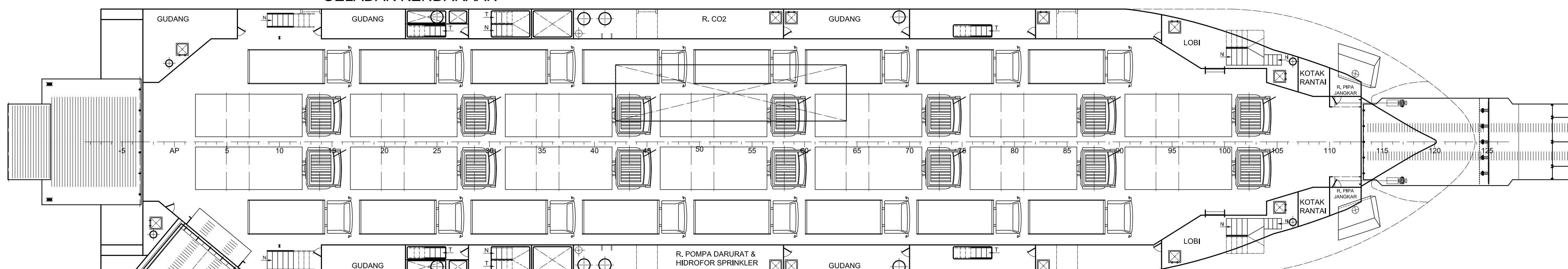
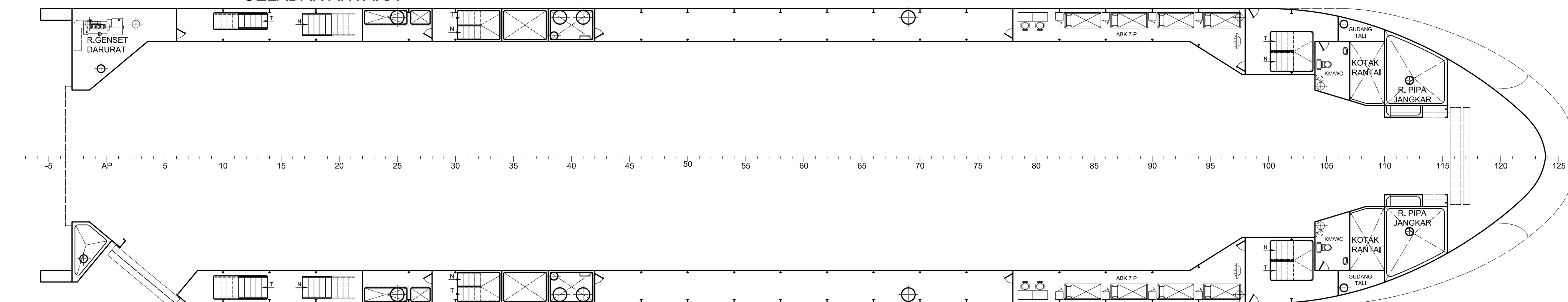
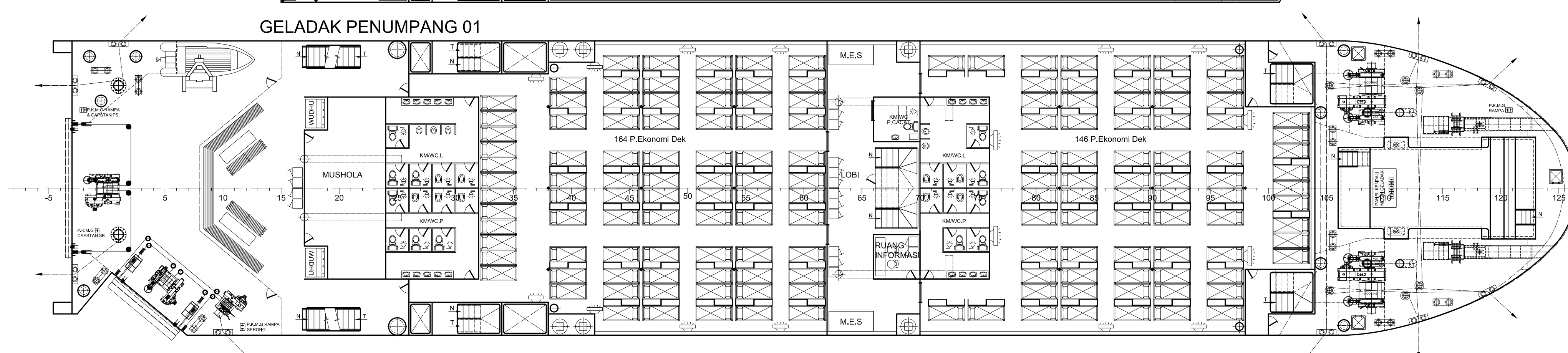
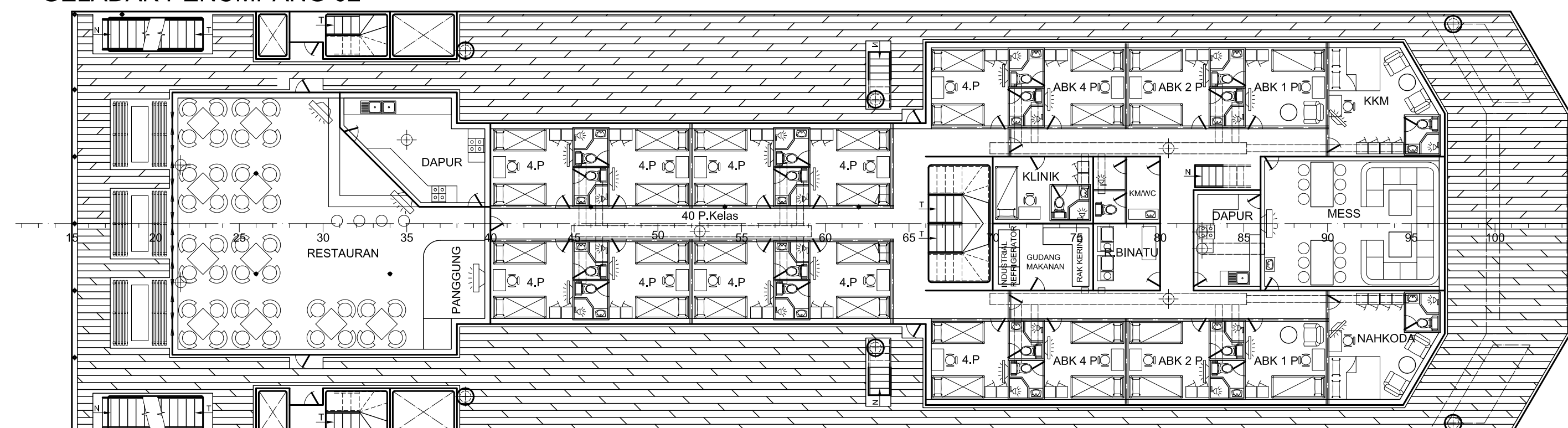
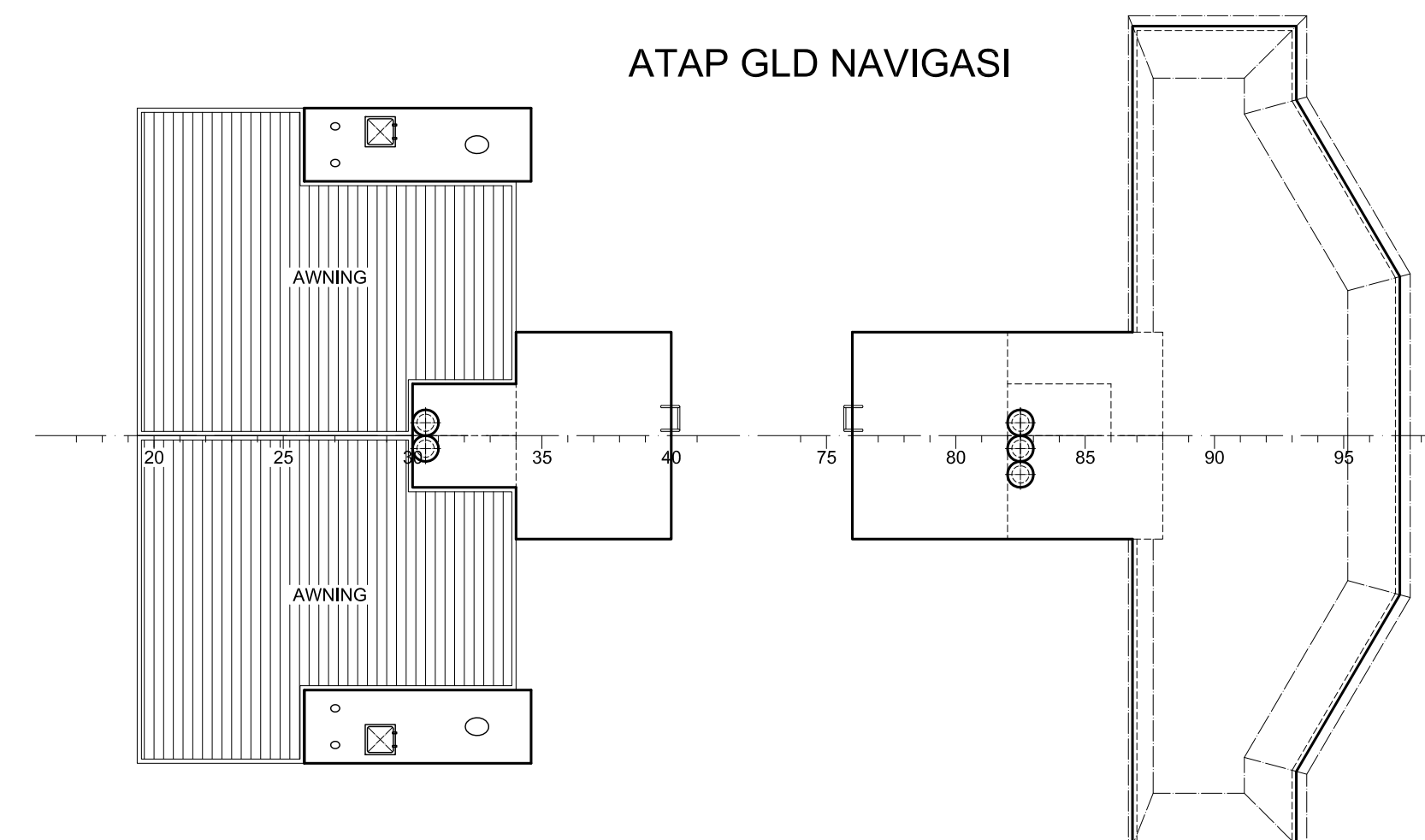
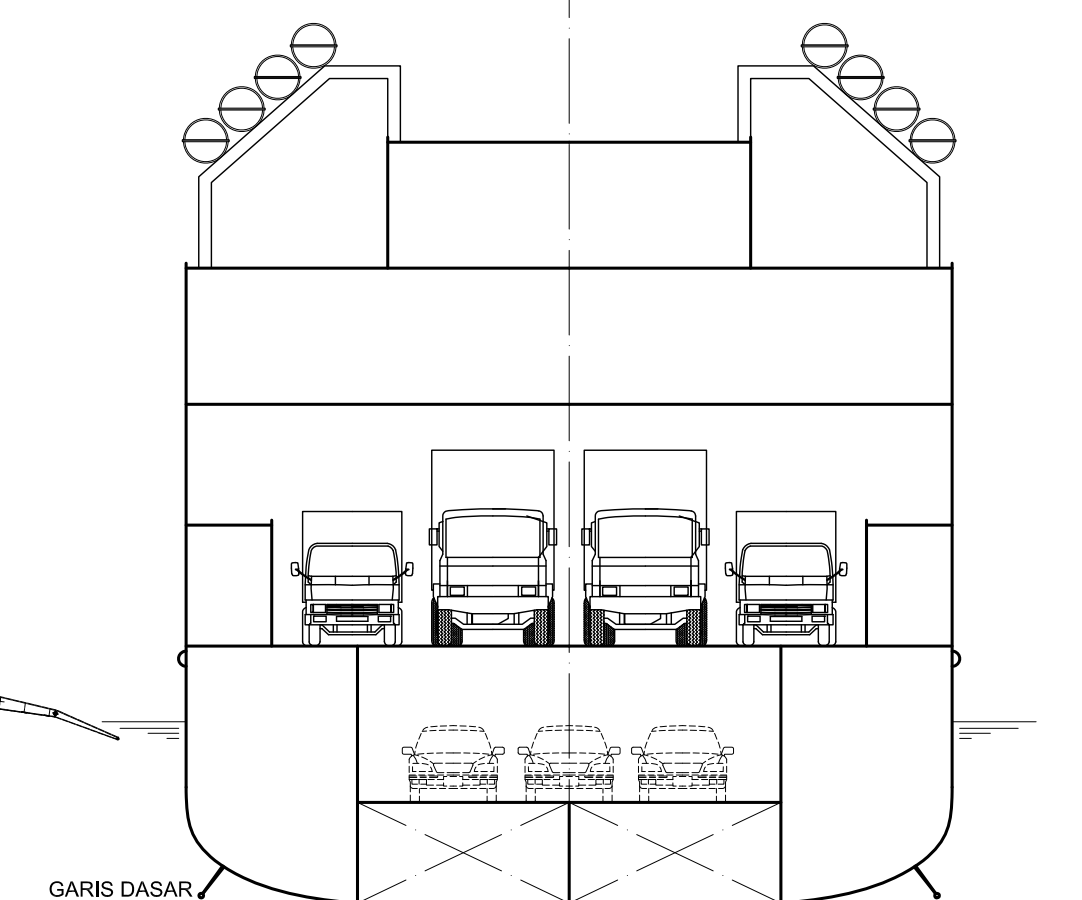
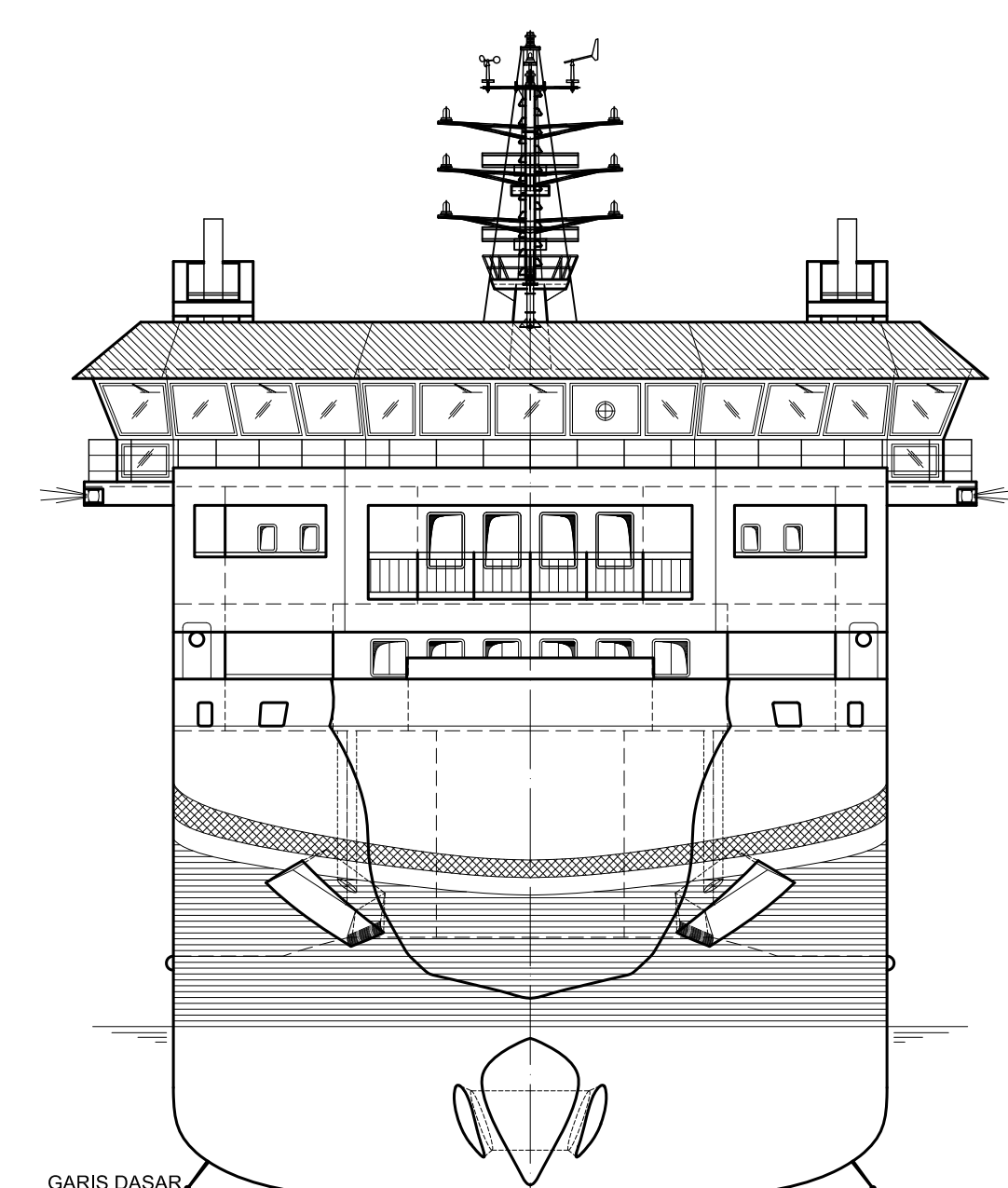
- Rivaldhi, Yogan dan Ahmad Nasirudin; “Analisa Teknis dan Ekonomis Pemasangan Wind Turbine Sebagai Penghasil Daya untuk Sistem Penerangan pada Kapal Tanker”; Institut Teknologi Sepuluh Nopember; Surabaya.
- Nugroho, Difi; 2011; “Analisis Pengisian Baterai Pada Rancang Bangun Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius untuk Pencatutan Beban Listrik”; Depok.
- Bockman, Eirik dan Steen, Sverre. June 2011. “Wind Turbine Propulsion of Ship”, Second International on Marine Propulsor
- Ganda Akbar, 2009, Tugas Akhir “Studi Pembangkit Listrik Tenaga Angin Laut Untuk Memenuhi Kebutuhan Penerangan Jembatan Suramadu”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Jacobs, G.J., 2008, “Small Wind Turbine System for Battery Charge”.
- Lysen, E. H., Agustus 1982, “Introduction to Wind Energy”, CWD Amersfoort The Netherlands.
- Purwanto, Yuli, dkk; 2014; “Aspek Keselamatan Ditinjau dari Stabilitas Kapal dan Regulasi pada Kapal Pole and Line di Bitung, Sulawesi Utara”; Institut Pertanian Bogor
- Derrett, Captain D. R.; 2006; “Ship Stability for Masters and Mates”
- Lewis, Edward V.; 2004; “Principal of Naval Architecture – Resistance, Propulsion, and Vibration”; Society of Naval Architects and Marine Engineers

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

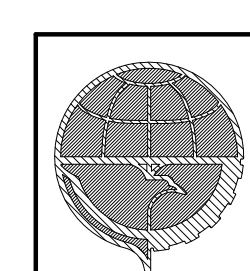
LAMPIRAN

1. Gambar Rencana Umum Kapal Perintis 2000 GT
2. Spesifikasi Teknis Panel Surya
 - a. SunPower E20-435-COM
 - b. SunPower X21-345-COM
 - c. Canadian Solar 320P-FG
3. Spesifikasi Teknis Turbin Angin
 - a. WindStar Aeolos-V 3KW
 - b. WindStar Aeolos-V 5KW
 - c. WindStar Aeolos-V 10KW
4. Spesifikasi Teknis Baterai
 - a. Victron Energy Li-ion 24V 180Ah
 - b. Victron Energy BAT412126101
 - c. Rolls Battery 12MD375P
5. Spesifikasi Teknis Charger
 - a. Victron Energy, Blue Solar Charge Controller, MPPT 150/100
 - b. WindStar WS-100C X-MPPT
6. Spesifikasi Teknis Inverter

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



KLAS : KI + A 100 I (P) KAPAL PENYEBERANGAN
+ SM



KANTOR :
Jl. Medan Merdeka Barat 6
JAKARTA 10130
Telepon (01-3506146)

KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
DIREKTORAT JENDERAL PERHUBUNGAN DARAT
DIREKTORAT LLASDP

RENCANA UMUM
KAPAL PENYEBERANGAN KELAS 2000 GT
LINTAS LAMONGAN-BAHAUR

DIDESAIN

DIPERIKSA

DISETUJUI

SKALA

--	--	--

		NO. PROYEK : -
--	--	----------------

NO. GAMBAR : R95-0115101	REV. : -
--------------------------	----------



SunPower® E-Series Commercial Solar Panels | E20-435-COM

More than 20% Efficiency

Captures more sunlight and generates more power than conventional panels.

High Performance

Delivers excellent performance in real-world conditions, such as high temperatures, clouds and low light.^{1,2,4}

Utility Grade

Optimized to maximize returns, the E-Series panel is a bankable solution for large-scale power plants.



Maxeon® Solar Cells: Fundamentally better

Engineered for performance, designed for reliability.

Engineered for Peace of Mind

Designed to deliver consistent, trouble-free energy over a very long lifetime.^{3,4}

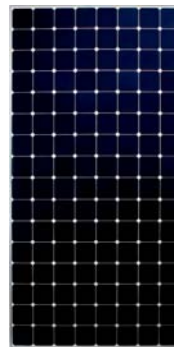
Designed for Reliability

The SunPower Maxeon Solar Cell is the only cell built on a solid copper foundation. Virtually impervious to the corrosion and cracking that degrade conventional panels.³

#1 Rank in Fraunhofer durability test.⁹

100% power maintained in Atlas 25+ comprehensive durability test.¹⁰

High Performance & Excellent Reliability



SPR-E20-435-COM



High Efficiency⁵

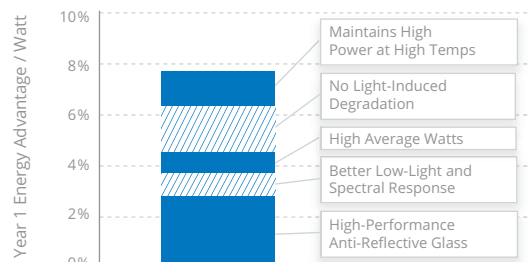
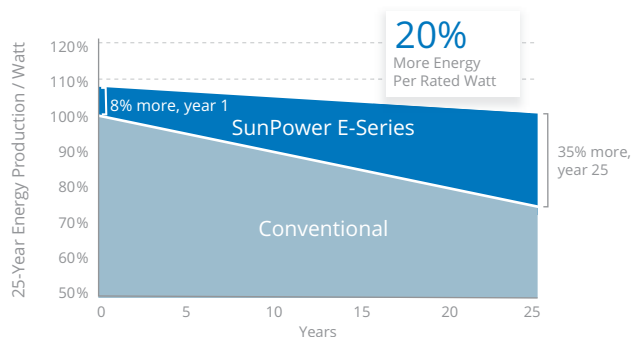
Generate more energy per square foot

E-Series commercial panels convert more sunlight to electricity by producing 31% more power per panel¹ and 60% more energy per square foot over 25 years.^{1,2,3}

High Energy Production⁶

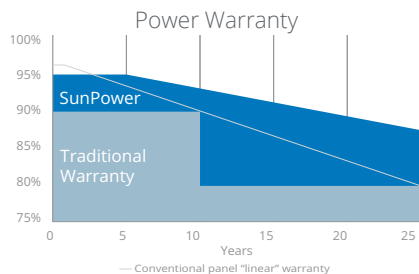
Produce more energy per rated watt

More energy to power your operations. High year-one performance delivers 7-9% more energy per rated watt.² This advantage increases over time, producing 20% more energy over the first 25 years to meet your needs.³

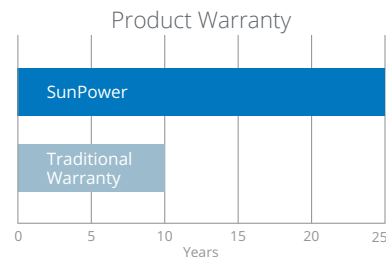


SunPower® E-Series Commercial Solar Panels | E20-435-COM

SunPower Offers The Best Combined Power And Product Warranty



More guaranteed power: 95% for first 5 years,
-0.4%/yr. to year 25⁷



Combined Power and Product defect 25-year coverage⁸

Electrical Data

	SPR-E20-435-COM	SPR-E19-410-COM
Nominal Power (P _{nom}) ¹¹	435 W	410 W
Power Tolerance	+/-5%	+/-5%
Avg. Panel Efficiency ¹²	20.3%	19.1%
Rated Voltage (V _{mpp})	72.9 V	72.9 V
Rated Current (I _{mpp})	5.97 A	5.62 A
Open-Circuit Voltage (V _{oc})	85.6 V	85.3 V
Short-Circuit Current (I _{sc})	6.43 A	6.01 A
Max. System Voltage	1000 V UL & 1000 V IEC	
Maximum Series Fuse	15 A	
Power Temp Coef.	-0.35% / °C	
Voltage Temp Coef.	-235.5 mV / °C	
Current Temp Coef.	2.6 mA / °C	

REFERENCES:

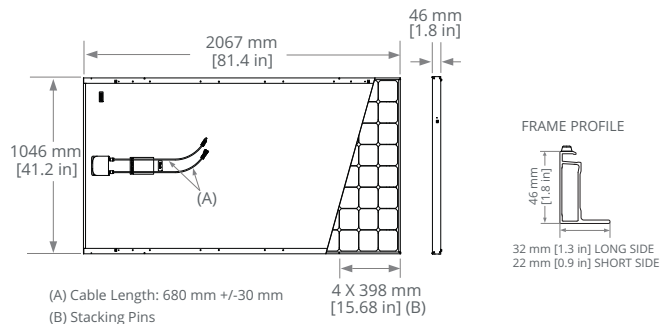
- All comparisons are SPR-E20-327 vs. a representative conventional panel: 250 W, approx. 1.6 m², 15.3% efficiency.
- Typically 7–9% more energy per watt, BEW/DNV Engineering "SunPower Yield Report," Jan 2013.
- SunPower 0.25%/yr degradation vs. 1.0%/yr conv. panel. Campeau, Z. et al. "SunPower Module Degradation Rate," SunPower white paper, Feb 2013; Jordan, Dirk "SunPower Test Report," NREL, Q1-2015.
- "SunPower Module 40-Year Useful Life" SunPower white paper, May 2015. Useful life is 99 out of 100 panels operating at more than 70% of rated power.
- Second highest, after SunPower X-Series, of over 3,200 silicon solar panels, Photon Module Survey, Feb 2014.
- 8% more energy than the average of the top 10 panel companies tested in 2012 (151 panels, 102 companies), Photon International, Feb 2013.
- Compared with the top 15 manufacturers, SunPower Warranty Review, May 2015.
- Some restrictions and exclusions may apply. See warranty for details.
- 5 of top 8 panel manufacturers tested in 2013 report, 3 additional panels in 2014, Ferrara, C., et al. "Fraunhofer PV Durability Initiative for Solar Modules: Part 2". Photovoltaics International, 2014.
- Compared with the non-stress-tested control panel. Atlas 25+ Durability test report, Feb 2013.
- Standard Test Conditions (1000 W/m² irradiance, AM 1.5, 25° C). NREL calibration Standard: SOMS current, LACCS FF and Voltage.
- Based on average of measured power values during production.
- Type 2 fire rating per UL1703:2013, Class C fire rating per UL1703:2002.
- See salesperson for details.

Tests And Certifications

Standard Tests ¹³	UL1703 (Type 2 Fire Rating), IEC 61215, IEC 61730
Quality Certs	ISO 9001:2008, ISO 14001:2004
EHS Compliance	RoHS, OHSAS 18001:2007, lead free, REACH SVHC-163, PV Cycle
Sustainability	Cradle to Cradle Certified™ Silver (eligible for LEED points) ¹⁴
Ammonia Test	IEC 62716
Desert Test	10.1109/PVSC.2013.6744437
Salt Spray Test	IEC 61701 (maximum severity)
PID Test	Potential-Induced Degradation free: 1000 V ⁹
Available Listings	UL, TUV, FSEC, CEC

Operating Condition And Mechanical Data

Temperature	-40° F to +185° F (-40° C to +85° C)
Impact Resistance	1 inch (25 mm) diameter hail at 52 mph (23 m/s)
Appearance	Class B
Solar Cells	128 Monocrystalline Maxeon Gen II
Tempered Glass	High-transmission tempered anti-reflective
Junction Box	IP-65, 680 mm cables / MC4 Compatible
Weight	56 lbs (25.4 kg)
Max. Load	Wind: 50 psf, 2400 Pa, 244 kg/m ² front & back Snow: 112 psf, 5400 Pa, 550 kg/m ² front
Frame	Class 2 silver anodized; stacking pins



Please read the safety and installation guide.

See www.sunpower.com/facts for more reference information.
For more details, see extended datasheet: www.sunpower.com/datasheets.

Document # 505699 Rev H /LTR_US



SunPower® X-Series Commercial Solar Panels | X21-345-COM

More than 21% Efficiency

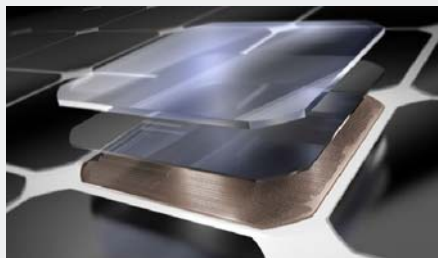
Captures more sunlight and generates more power than conventional panels.

Maximum Performance

Designed to perform in demanding real-world conditions of high temperatures, partial shade from overhead wires, and low light.^{1,2,4}

Commercial Grade

Intended for commercial sites where maximum energy production is critical.



Maxeon® Solar Cells: Fundamentally better

Engineered for performance, designed for reliability.

Engineered for Peace of Mind

Designed to deliver consistent, trouble-free energy over a very long lifetime.^{3,4}

Designed for Reliability

The SunPower Maxeon Solar Cell is the only cell built on a solid copper foundation. Virtually impervious to the corrosion and cracking that degrade conventional panels.³

Same excellent durability as E-Series panels.

#1 Rank in Fraunhofer durability test.⁹

100% power maintained in Atlas 25+

comprehensive durability test.¹⁰

High Performance & Excellent Reliability



SPR-X21-345-COM

Highest Efficiency⁵

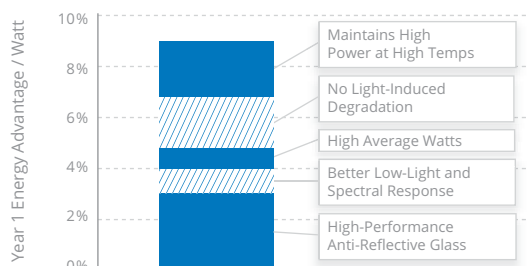
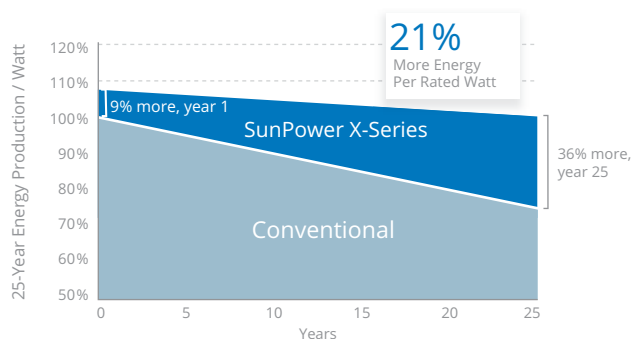
Generate more energy per square foot

X-Series commercial panels convert more sunlight to electricity by producing 38% more power per panel¹ and 70% more energy per square foot over 25 years.^{1,2,3}

Highest Energy Production⁶

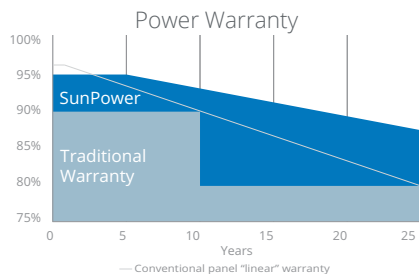
Produce more energy per rated watt

More energy to power your operations. High year-one performance delivers 8–10% more energy per rated watt.² This advantage increases over time, producing 21% more energy over the first 25 years to meet your needs.³

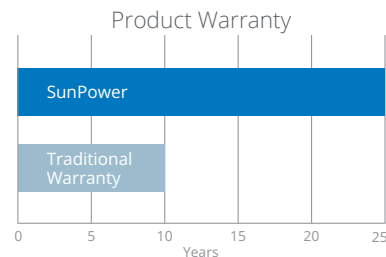


SunPower® X-Series Commercial Solar Panels | X21-345-COM

SunPower Offers The Best Combined Power And Product Warranty



More guaranteed power: 95% for first 5 years,
-0.4%/yr. to year 25⁷



Combined Power and Product defect 25-year coverage⁸

Electrical Data

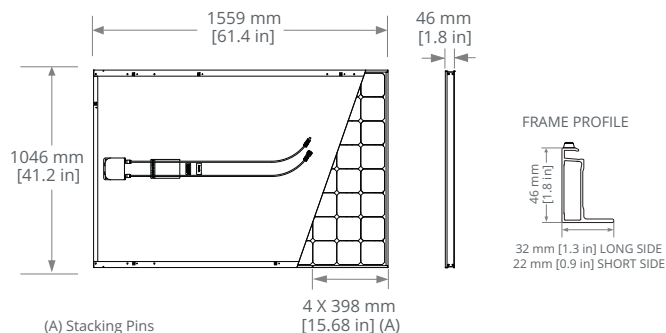
	SPR-X21-345-COM	SPR-X20-327-COM
Nominal Power (P _{nom}) ¹¹	345 W	327 W
Power Tolerance	+5/-3%	+5/-3%
Avg. Panel Efficiency ¹²	21.5%	20.3%
Rated Voltage (V _{mpp})	57.3 V	57.3 V
Rated Current (I _{mpp})	6.02 A	5.71 A
Open-Circuit Voltage (V _{oc})	68.2 V	67.6 V
Short-Circuit Current (I _{sc})	6.39 A	6.07 A
Max. System Voltage	1000 V UL & 1000 V IEC	
Maximum Series Fuse	15 A	
Power Temp Coef.	-0.29% / °C	
Voltage Temp Coef.	-167.4 mV / °C	
Current Temp Coef.	2.9 mA / °C	

Tests And Certifications

Standard Tests ¹³	UL1703 (Type 2 Fire Rating), IEC 61215, IEC 61730
Quality Certs	ISO 9001:2008, ISO 14001:2004
EHS Compliance	RoHS, OHSAS 18001:2007, lead free, REACH SVHC-163, PV Cycle
Sustainability	Cradle to Cradle Certified™ Silver (eligible for LEED points) ¹⁴
Ammonia Test	IEC 62716
Desert Test	10.1109/PVSC.2013.6744437
Salt Spray Test	IEC 61701 (maximum severity)
PID Test	Potential-Induced Degradation free: 1000 V ⁹
Available Listings	UL, TUV, JET, CSA, CEC

Operating Condition And Mechanical Data

Temperature	-40° F to +185° F (-40° C to +85° C)
Impact Resistance	1 inch (25 mm) diameter hail at 52 mph (23 m/s)
Appearance	Class B
Solar Cells	96 Monocrystalline Maxeon Gen III
Tempered Glass	High-transmission tempered anti-reflective
Junction Box	IP-65, MC4 compatible
Weight	41 lbs (18.6 kg)
Max. Load	Wind: 50 psf, 2400 Pa, 244 kg/m ² front & back Snow: 112 psf, 5400 Pa, 550 kg/m ² front
Frame	Class 2 silver anodized; stacking pins



(A) Stacking Pins
Please read the safety and installation guide.

REFERENCES:

- 1 All comparisons are SPR-X21-345 vs. a representative conventional panel: 250 W, approx. 1.6 m², 15.3% efficiency.
- 2 Typically 8–10% more energy per watt, BEW/DNV Engineering "SunPower Yield Report," Jan 2013.
- 3 SunPower 0.25%/yr degradation vs. 1.0%/yr conv. panel. Campeau, Z. et al. "SunPower Module Degradation Rate," SunPower white paper, Feb 2013; Jordan, Dirk "SunPower Test Report," NREL, Q1-2015.
- 4 "SunPower Module 40-Year Useful Life" SunPower white paper, May 2015. Useful life is 99 out of 100 panels operating at more than 70% of rated power.
- 5 Highest of over 3,200 silicon solar panels, Photon Module Survey, Feb 2014.
- 6 1% more energy than E-Series panels, 8% more energy than the average of the top 10 panel companies tested in 2012 (151 panels, 102 companies), Photon International, Feb 2013.
- 7 Compared with the top 15 manufacturers. SunPower Warranty Review, May 2015.
- 8 Some restrictions and exclusions may apply. See warranty for details.
- 9 X-Series same as E-Series, 5 of top 8 panel manufacturers tested in 2013 report, 3 additional panels in 2014. Ferrara, C., et al. "Fraunhofer PV Durability Initiative for Solar Modules: Part 2". Photovoltaics International, 2014.
- 10 Compared with the non-stress-tested control panel. X-Series same as E-Series, tested in Atlas 25+ Durability test report, Feb 2013.
- 11 Standard Test Conditions (1000 W/m² irradiance, AM 1.5, 25° C). NREL calibration Standard: SOMS current, LACCS FF and Voltage.
- 12 Based on average of measured power values during production.
- 13 Type 2 fire rating per UL1703:2013, Class C fire rating per UL1703:2002.
- 14 See salesperson for details.

See www.sunpower.com/facts for more reference information.
For more details, see extended datasheet: www.sunpower.com/datasheets.

Document # 505700 Rev F /LTR_US

DOUBLE-GLASS MODULE

DIAMOND CS6X-310/315/320P-FG

Canadian Solar's Diamond CS6X-P-FG module is a 72 cell double-glass module. By replacing the traditional polymer backsheet with heat-strengthened glass, the Diamond module has a lower annual power degradation than a traditional module and better protection against the elements, making it more reliable and durable during its lifetime.

KEY FEATURES



Anti-PID module

- Anti-PID cell technology
- Anti-PID encapsulation technology



Lower annual power degradation & more system power yield over lifetime

- First year annual degradation 2.5%, each subsequent year 0.5%
- 85.5% power output at year 25
- 83% power output at year 30



Better fire protecting performance

- Fire class A certified according to fire test IEC 61730-2 / MST 23
- Certified for fire type 3 according to UL 1703



Designed for high voltage systems of up to 1500 V_{DC}, saving BoS costs



Sea/waterside PV system installation

- Glass backside blocks moisture permeability
- No module-level corrosion



5400 Pa snow load, 2400 Pa wind load



NEW

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2008 / Quality management system

ISO/TS 16949:2009 / The automotive industry quality management system

ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system

OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE

UL 1703: CSA / PV CYCLE (EU)



* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

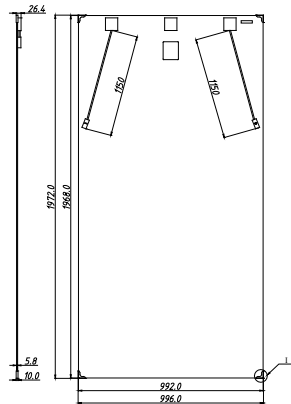
CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading manufacturer of solar modules and PV project developer with about 10 GW of premium quality modules deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

CANADIAN SOLAR (USA) INC.

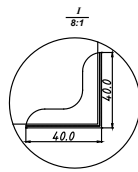
2420 Camino Ramon, Suite 125 San Ramon, CA, USA 94583-4385, www.canadiansolar.com, sales.us@canadiansolar.com

MODULE / ENGINEERING DRAWING (mm)

Rear View



Corner Protector Detail



ELECTRICAL DATA / STC*

Electrical Data CS6X	310P-FG	315P-FG	320P-FG
Nominal Max. Power (Pmax)	310 W	315 W	320 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	36.4 V	36.6 V	36.8 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.52 A	8.61 A	8.69 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.9 V	45.1 V	45.3 V
Short Circuit Current (Isc)	9.08 A	9.18 A	9.26 A
Module Efficiency	15.88%	16.14%	16.39%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1500 (IEC) or 1000 V (UL)		
Module Fire Performance	Type 3 (UL 1703) or CLASS A (IEC 61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ + 5 W		

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA / NOCT*

Electrical Data CS6X	310P-FG	315P-FG	320P-FG
Nominal Max. Power (Pmax)	225 W	228 W	232 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	33.2 V	33.4 V	33.6 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.77 A	6.84 A	6.91 A
Open Circuit Voltage (Voc)	41.3 V	41.5 V	41.6 V
Short Circuit Current (Isc)	7.36 A	7.44 A	7.50 A

* Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

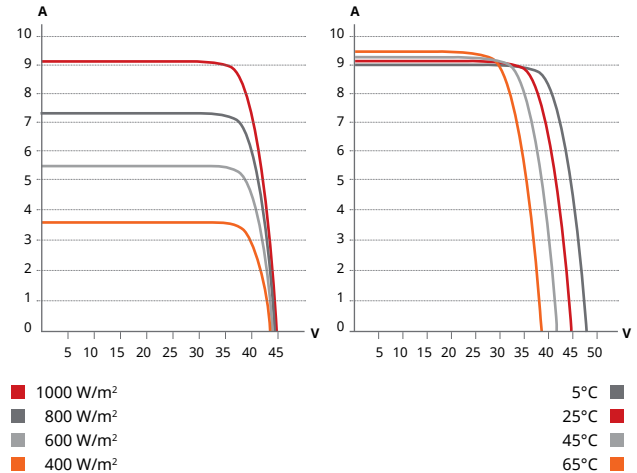
PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Industry leading performance at low irradiation, average 96.0% relative efficiency from an irradiance of 1000 W/m² to 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

CS6X-310P-FG / I-V CURVES



MODULE / MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6×12)
Dimensions	1968×992×5.8mm (77.5×39.1×0.23 in) without J-Box and corner protector
(Incl. corner protector)	1972×996×10 mm (77.6×39.2×0.39 in) without J-Box
Weight	27.5 kg (60.6 lbs)
Front Cover	2.5 mm heat strengthened glass
Back Glass	2.5 mm heat strengthened glass
Frame	Frameless
J-Box	Split J-Box, IP67, 3 diodes
Cable	4 mm ² (IEC) or 4 mm ² & 12 AWG 1000 V (UL)
Cable Length	1150 mm (45.3 in), 500 mm (19.7 in) (+) and 350 mm (13.8 in) (-) is optional for portrait installation*
Connectors	Amphenol H4 UTX (IEC), Renhe 05-6 (UL)
Standard Packaging	30 pieces
Module Pieces per Container	660 pieces (40' HQ)

* The application of this short length cable can only be used in portrait installation (clamping mounting method) systems in which the distance between modules should be less than or equal to 50 mm. In the event the distance between the PV modules to be installed is more than 50 mm, please make sure to consult our technical team for evaluation and advice.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.41% / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31% / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053% / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C

PARTNER SECTION





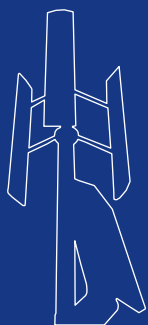
Vertical Wind Turbine Brochure

Aeolos wind turbine
SINCE 1986



Aeolos-V 3kW

AEOLOS



Aeolos-V

www.australianwindandsolar.com

Aeolos wind turbine
SINCE 1986



Specification

Generator Type:	Three Phase Permanent Magnet
Rotor Height:	3.0m (9.84ft)
Rotor Width:	2.4m (7.87ft)
Turbine Weight:	106kg (235.6lbs)
Blades Material:	Aluminum Alloy
Blade Quantity:	3 pcs
Working Temperature:	-20 °C to 50 °C
Design Lifetime:	20 years

Performance

Rated Power:	3000 W
Max Output Power:	3600 W
Cut In Wind Speed:	2.5m/s (5.58mph)
Rated Wind Speed:	10m/s (22.3mph)
Survival Wind Speed:	55m/s (122.65mph)
Generator Efficiency:	96%
Noise Level:	< 45 dB(A)
Warranty:	5 year

Safety

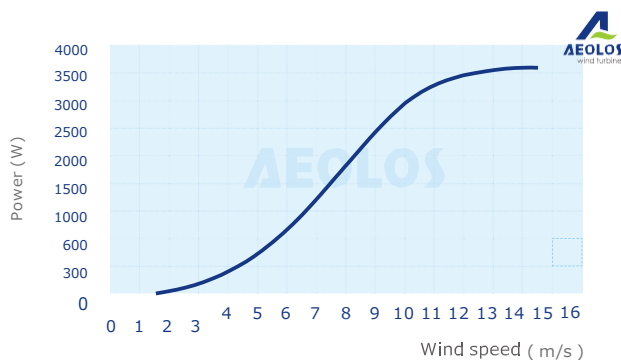
Blades RPM Limitation:	320 RPM
PWM Dump Load:	5kW Box
Mechanical Brake:	Manual

Optional

Remote Monitoring System (Internet/Wireless)
Auto Hydraulic Brake System (Unattended Site)

Off Grid :	48 V or 96 V
Grid Tie :	300 V

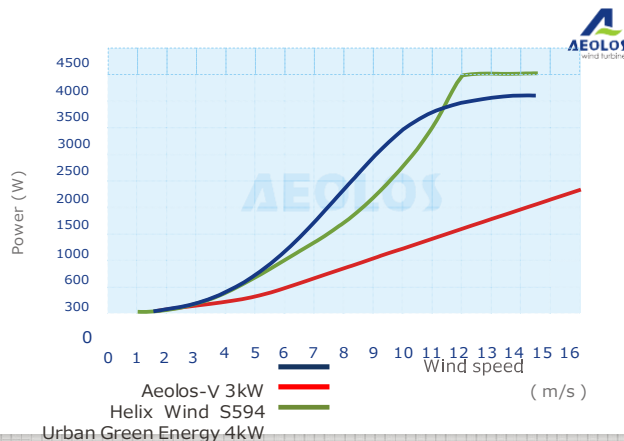
Aeolos-V 3kW Power Curve



Aeolos-V 3kW Wind Turbine Annual Energy Output

Wind Speed(m/s)	Annual Energy Output (kWh)	Wind Speed(m/s)	Annual Energy Output (kWh)
3 m/s	892 kWh	8 m/s	15768 kWh
4 m/s	2365 kWh	9 m/s	21637 kWh
5 m/s	4029 kWh	10 m/s	26280 kWh
6 m/s	6307 kWh	11 m/s	29433 kWh
7 m/s	10162 kWh	12 m/s	30660 kWh

Aeolos-V 3kW Power Curve VS UGE 4kW, Helix S594



5 YEAR WARRANTY



AUSTRALIAN WIND AND SOLAR

Head Office: 11/15 Thackray St

Port Melbourne, VICTORIA

Tel:1300736 458

www.australianwindandsolar.com





**Aeolos wind turbine
SINCE 1986**



Why Choose Aeolos V 3kW Wind Turbine?

Triple Safety Protection

Special Blade Design: Aeolos blades use the special aerodynamic design which limits the max rotating speed to 320 rpm even the wind speed is 30m/s or 40m/s. It is more safe and reliable than traditional vertical axis wind turbine.

PWM Dump Load: Aeolos-V 3kW wind turbine has the 5kW dump load box with PWM loading function. This will consume the over power output and control the voltage in strong wind speed.

Mechanical Brake: The manual mechanical brake can stop the wind turbine for maintenance or typhoon coming. We have the auto hydraulic brake system for remote installation site without people checking.



High Efficiency

Low Cut-in Wind Speed: Aeolos-V 3kW could start up with 1.5m/s wind speed and has the power output in 2.5m/s to inverter. This is more efficient than the vertical wind turbines with a 3.5m/s or even 4.5m/s cut in wind speed.

More Annual Output: According to the AWEA standard, Aeolos-V 3kW annual output is 4029 kWh at 5m/s wind speed. The annual output at 10m/s is 26280 kWh.

MPPT Charger For Off Grid: Aeolos-V 3kW use 48V MPPT charging controller to increase the charging efficiency to 94%. It can charge the battery bank when wind speed is above 3.0m/s.



5 YEAR WARRANTY



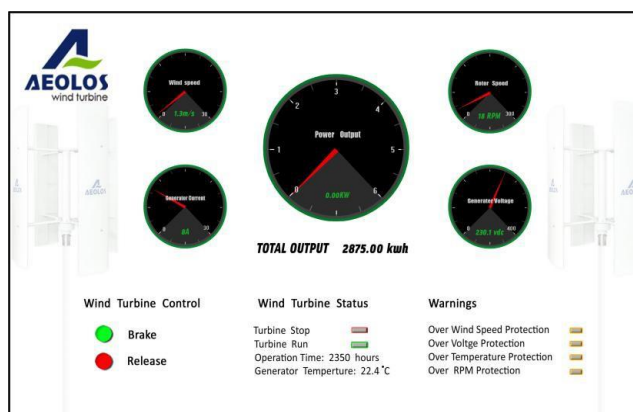


Aeolos wind turbine
SINCE 1986



Intelligence Control

Remote Monitoring System: Customer can remote monitor the wind turbine operation, wind speed and power output in office, home, airport and anywhere through the internet.



Auto Hydraulic Brake System: It is suitable for the remote installation sites, like the island, telecommunication tower station which does not have people checking and monitoring. This system can auto stop the wind turbine in over voltage, over wind speed, generator over temperature and all any other faults. It can auto release the wind turbine to run after the abnormal warnings.



5 YEAR WARRANTY

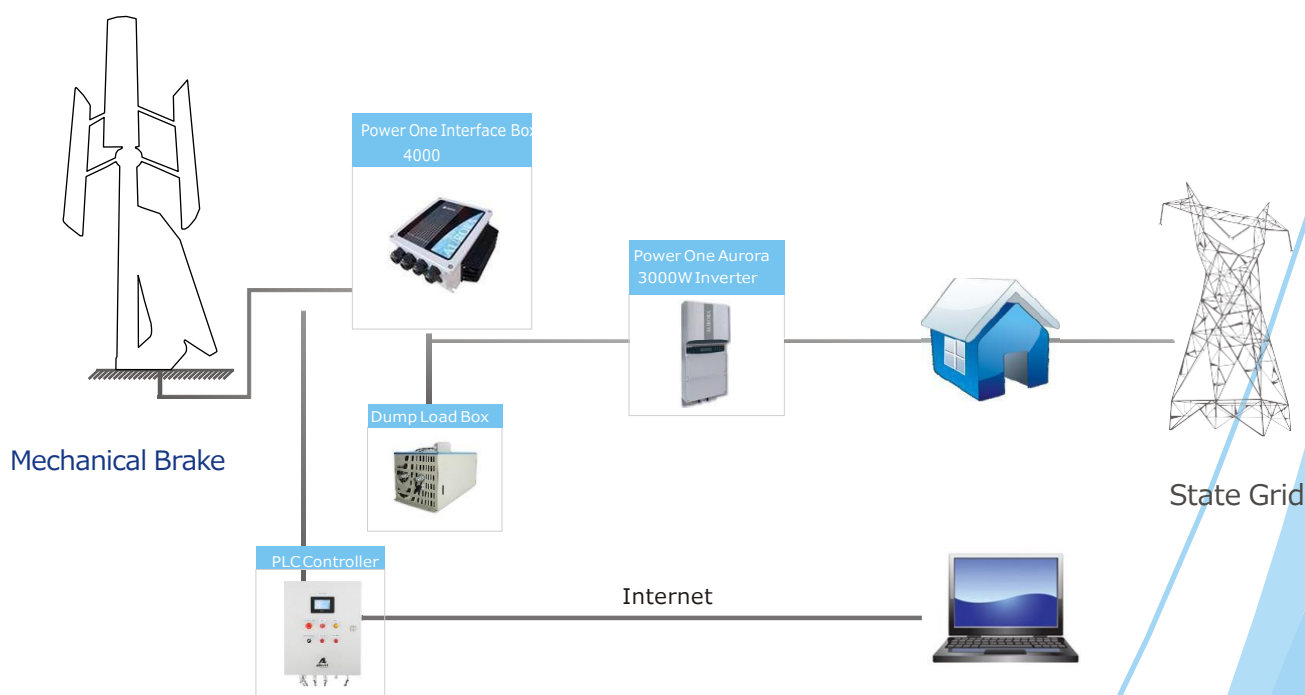


AEOLOS
wind turbine **4**

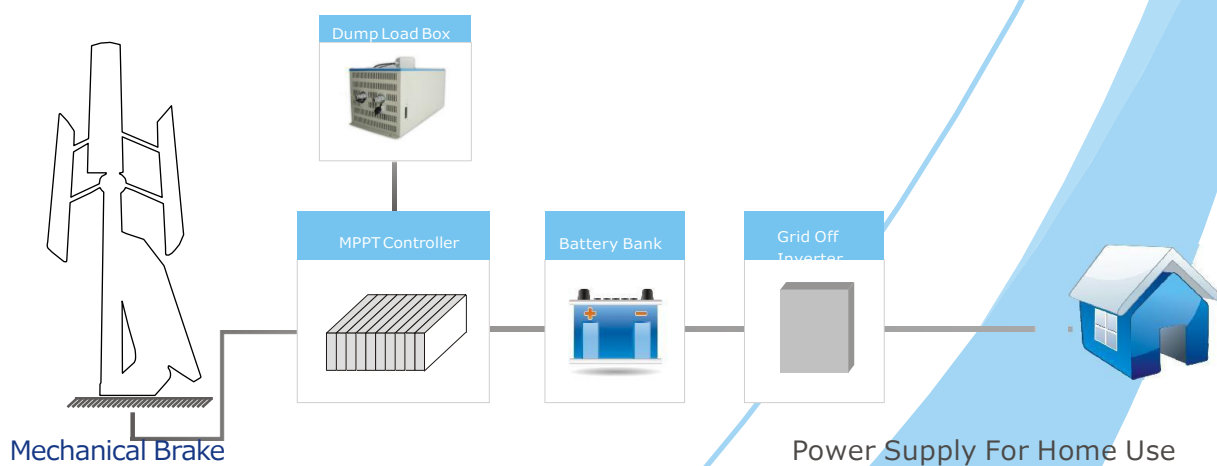
Aeolos wind turbine
SINCE 1986

Wiring Diagram

Grid-on



Grid-off



AUSTRALIAN WIND AND SOLAR

Head Office: 11/15 Thackray St

Port Melbourne, VICTORIA

Tel: 1300 736 458

www.australianwindandsolar.com

5 YEAR WARRANTY

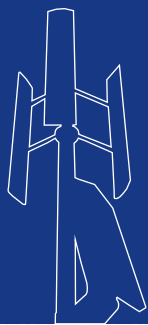


Vertical Wind Turbine Brochure

*Aeolos wind turbine
SINCE 1986*

Aeolos-V 5kW





Aeolos -V
windturbinestar.com

Aeolos wind turbine
SINCE 1986



Specification

Generator Type:	Three Phase Permanent Magnet
Rotor Height:	5m (16.4 ft)
Rotor Width:	4.5m (14.8 ft)
Turbine Weight:	285kg (633.5 lbs)
Blades Material:	Aluminum Alloy
Blade Quantity:	3 pcs
Working Temperature:	-20 °C to 50 °C
Design Lifetime:	20 years

Performance

Rated Power:	5000 W
Max Output Power:	6200 W
Cut In Wind Speed:	2.5m/s (5.6 mph)
Rated Wind Speed:	12m/s (26.8 mph)
Survival Wind Speed:	55m/s (122.65 mph)
Generator Efficiency:	96%
Noise Level:	< 45 dB(A)
Warranty:	5 year

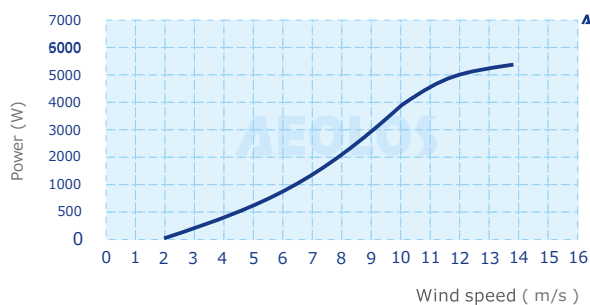
Safety

Blades RPM Limitation:	100 RPM
PWM Dump Load:	7.5 kW Box
Mechanical Brake:	Manual/Auto

Optional

Remote Monitoring System (Internet/Wireless)	
Auto Hydraulic Brake System (Unattended Site)	
Off Grid :	48 V or 96 V
Grid Tie :	300 V

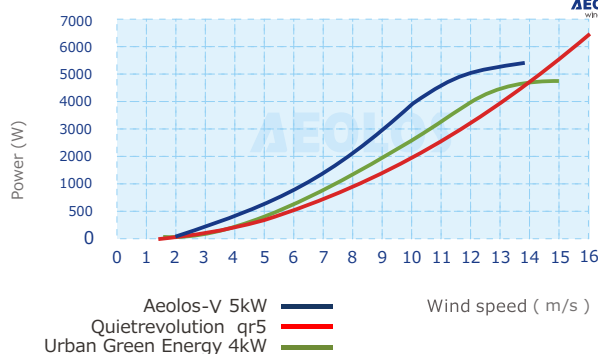
Aeolos-V 5kW Power Curve



Aeolos-V 5kW Wind Turbine Annual Energy Output

Wind Speed(m/s)	Annual Energy Output (kWh)	Wind Speed(m/s)	Annual Energy Output (kWh)
3 m/s	1752 kWh	8 m/s	17520 kWh
4 m/s	3942 kWh	9 m/s	26280 kWh
5 m/s	5256 kWh	10 m/s	35040 kWh
6 m/s	7008 kWh	11 m/s	41172 kWh
7 m/s	10512 kWh	12 m/s	44676 kWh

Aeolos-V 5kW Power Curve VS UGE 4kW, qr5



5 YEAR WARRANTY



Aeolos Wind Energy, Ltd (UK)
27 Old Gloucester Street, London WC1N 3AX
United Kingdom
Tel: +44 208 242 1884
E-mail: sales@windturbinestar.com





**Aeolos wind turbine
SINCE 1986**



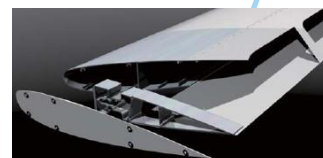
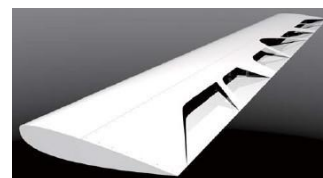
Why Choose Aeolos V 5kW Wind Turbine?

Triple Safety Protection

Special Blade Design: Aeolos blades use the special aerodynamic design which limits the max rotating speed to 200 rpm even the wind speed is 30m/s or 40m/s. It is more safe and reliable than traditional vertical axis wind turbine.

PWM Dump Load: Aeolos-V 5kW wind turbine has the 5kW dump load box with PWM loading function. This will consume the over power output and control the voltage in strong wind speed.

Mechanical Brake: The manual mechanical brake can stop the wind turbine for maintenance or typhoon coming. We have the auto hydraulic brake system for remote installation site without people checking.

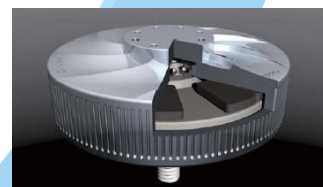


High Efficiency

Low Cut-in Wind Speed: Aeolos-V 5kW could start up with 1.5m/s wind speed and has the power output in 2.5m/s to inverter. This is more efficient than the vertical wind turbines with a 3.5m/s or even 4.5m/s cut in wind speed.

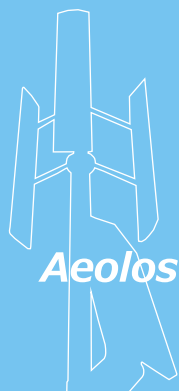
More Annual Output: According to the AWEA standard, Aeolos-V 5kW annual output is 6657 kWh at 5m/s wind speed. The annual output at 10m/s is 42924 kWh.

MPPT Charger For Off Grid: Aeolos-V 5kW use 48V MPPT charging controller to increase the charging efficiency to 94%. It can charge the battery bank when wind speed is above 3.0m/s.



5 YEAR WARRANTY



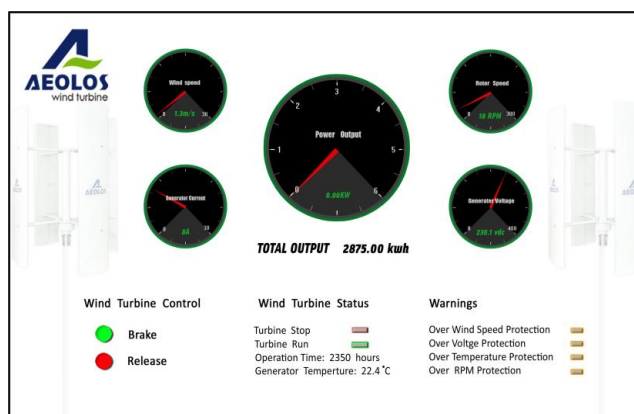


Aeolos wind turbine
SINCE 1986



Intelligence Control

Remote Monitoring System: Customer can remote monitor the wind turbine operation, wind speed and power output in office, home, airport and anywhere through the internet.



Auto Hydraulic Brake System: It is suitable for the remote installation sites, like the island, telecommunication tower station which does not have people checking and monitoring. This system can auto stop the wind turbine in over voltage, over wind speed, generator over temperature and all any other faults. It can auto release the wind turbine to run after the abnormal warnings.



5 YEAR WARRANTY



AEOLOS wind turbine **47**

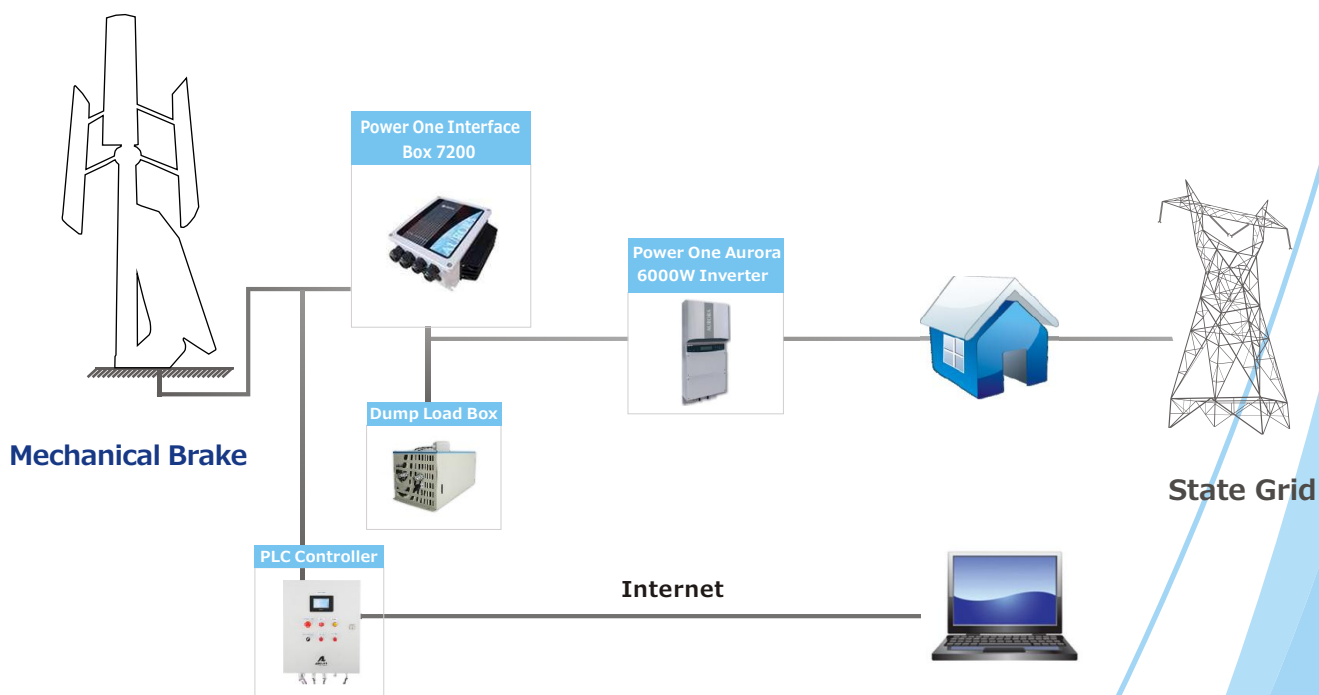


**Aeolos wind turbine
SINCE 1986**

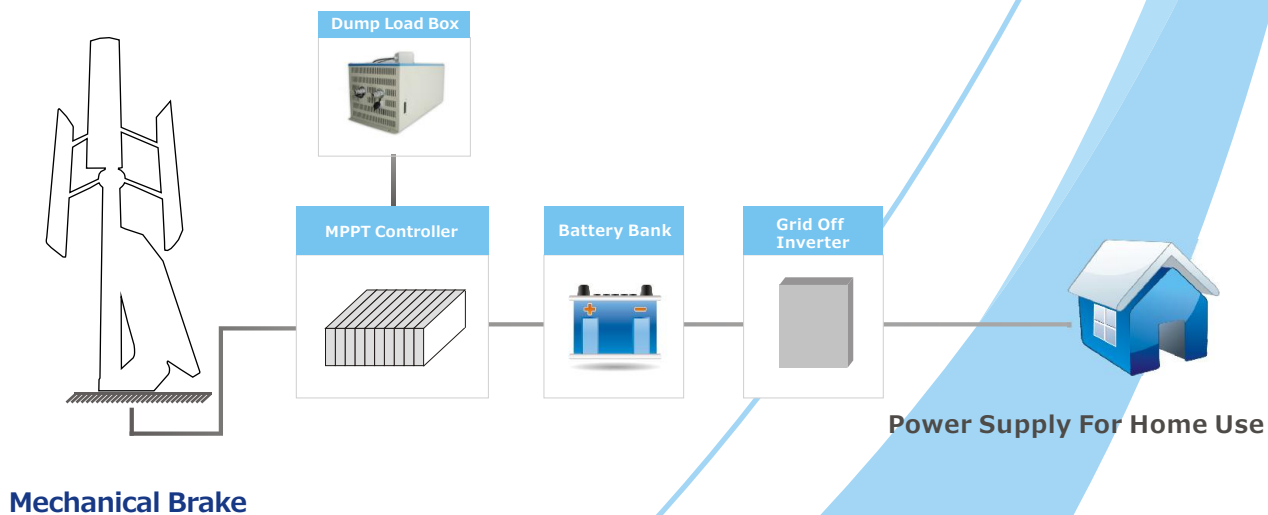


Wiring Diagram

Grid-on



Grid-off



5 YEAR WARRANTY

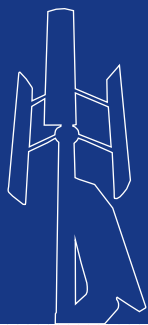


Vertical Wind Turbine Brochure



*Aeolos wind turbine
SINCE 1986*

Aeolos-V 10kW



Aeolos -V
windturbinestar.com

Aeolos wind turbine
SINCE 1986



Specification

Generator Type:	Three Phase Permanent Magnet
Rotor Height:	6.5m (21.33 ft)
Rotor Width:	5.0m (16.4 ft)
Turbine Weight:	680kg (1499.1 lbs)
Blades Material:	Aluminum Alloy
Blade Quantity:	3 pcs
Working Temperature:	-20 °C to 50 °C
Design Lifetime:	20 years

Performance

Rated Power:	10 kW
Max Output Power:	12 kW
Cut In Wind Speed:	2.5m/s (5.6 mph)
Rated Wind Speed:	12m/s (26.8 mph)
Survival Wind Speed:	55m/s (122.65 mph)
Generator Efficiency:	96%
Noise Level:	<38 dB(A)
Warranty:	5 year

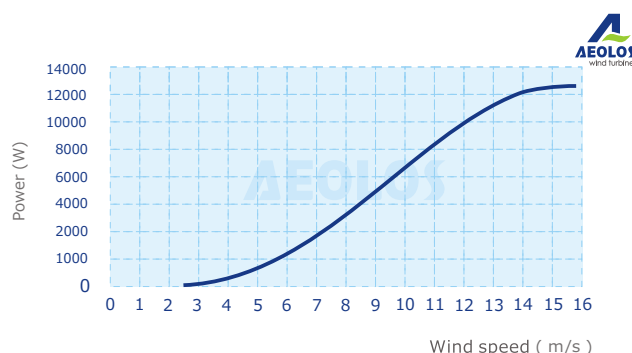
Safety

Blades RPM Limitation:	150 RPM
PWM Dump Load:	12 kW Box
Mechanical Brake:	Manual/Auto

Optional

Remote Monitoring System (Internet/Wireless)	
Auto Hydraulic Brake System (Unattended Site)	
Off Grid :	48 V or 120 V
Grid Tie :	360 V

Aeolos-V 10kW Power Curve



Aeolos-V 10kW Wind Turbine Annual Energy Output

Wind Speed(m/s)	Annual Energy Output (kWh)	Wind Speed(m/s)	Annual Energy Output (kWh)
3 m/s	1051 kWh	9 m/s	43800 kWh
4 m/s	3504 kWh	10 m/s	60440 kWh
5 m/s	7120 kWh	11 m/s	71832 kWh
6 m/s	10512 kWh	12 m/s	87600 kWh
7 m/s	16644 kWh	13 m/s	98988 kWh
8 m/s	32412 kWh	14 m/s	105996 kWh



5 YEAR WARRANTY



Aeolos Wind Energy, Ltd (UK)
27 Old Gloucester Street, London WC1N 3AX
United Kingdom
Tel: +44 208 242 1884
E-mail: sales@windturbinestar.com





Aeolos wind turbine
SINCE 1986



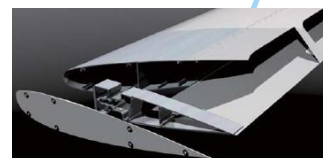
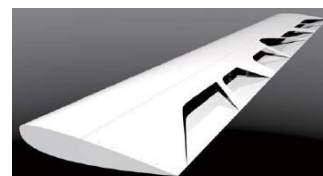
Why Choose Aeolos V 10kW Wind Turbine?

Triple Safety Protection

Special Blade Design: Aeolos blades use the special aerodynamic design which limits the max rotating speed to 150 rpm even the wind speed is 30m/s or 40m/s. It is more safe and reliable than traditional vertical axis wind turbine.

PWM Dump Load: Aeolos-V 10kW wind turbine has the 12 kW dump load box with PWM loading function. This will consume the over power output and control the voltage in strong wind speed.

Mechanical Brake: The manual mechanical brake can stop the wind turbine for maintenance or typhoon coming. We have the auto hydraulic brake system for remote installation site without people checking.

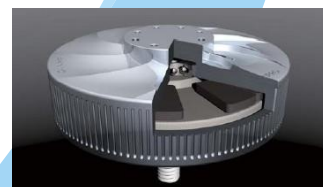


High Efficiency

Low Cut-in Wind Speed: Aeolos-V 10kW could start up with 2.5m/s wind speed and has the power output in 3.5m/s to inverter. This is more efficient than the vertical wind turbines with a 3.5m/s or even 4.5m/s cut in wind speed.

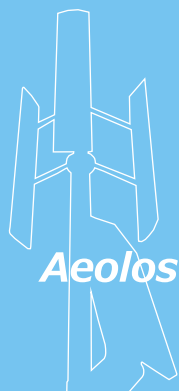
More Annual Output: According to the AWEA standard, Aeolos-V 10kW annual output is 7120 kWh at 5m/s wind speed. The annual output at 10m/s is 60440 kWh.

MPPT Charger For Off Grid: Aeolos-V 10kW use 48V MPPT charging controller to increase the charging efficiency to 94%. It can charge the battery bank when wind speed is above 3.5 m/s.



5 YEAR WARRANTY



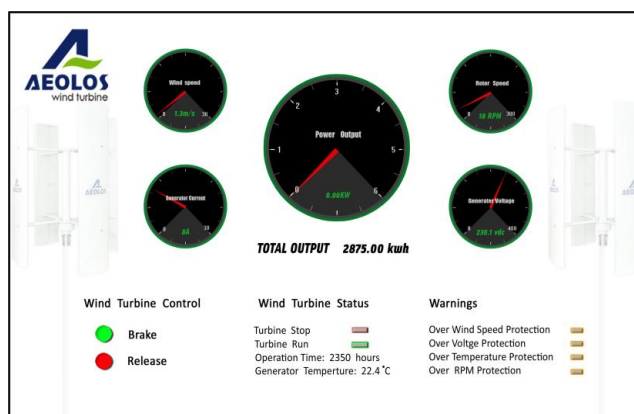


Aeolos wind turbine
SINCE 1986



Intelligence Control

Remote Monitoring System: Customer can remote monitor the wind turbine operation, wind speed and power output in office, home, airport and anywhere through the internet.



Auto Hydraulic Brake System: It is suitable for the remote installation sites, like the island, telecommunication tower station which does not have people checking and monitoring. This system can auto stop the wind turbine in over voltage, over wind speed, generator over temperature and all any other faults. It can auto release the wind turbine to run after the abnormal warnings.



5 YEAR WARRANTY



AEOLOS wind turbine **47**

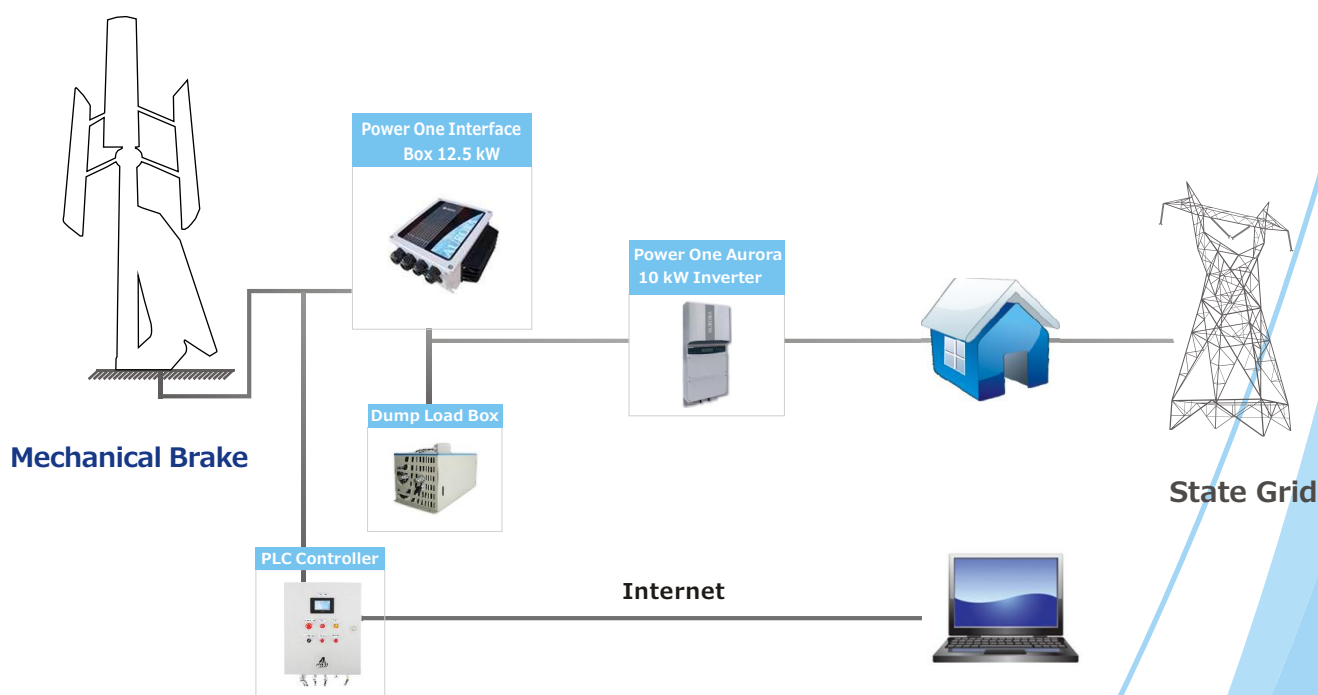


**Aeolos wind turbine
SINCE 1986**

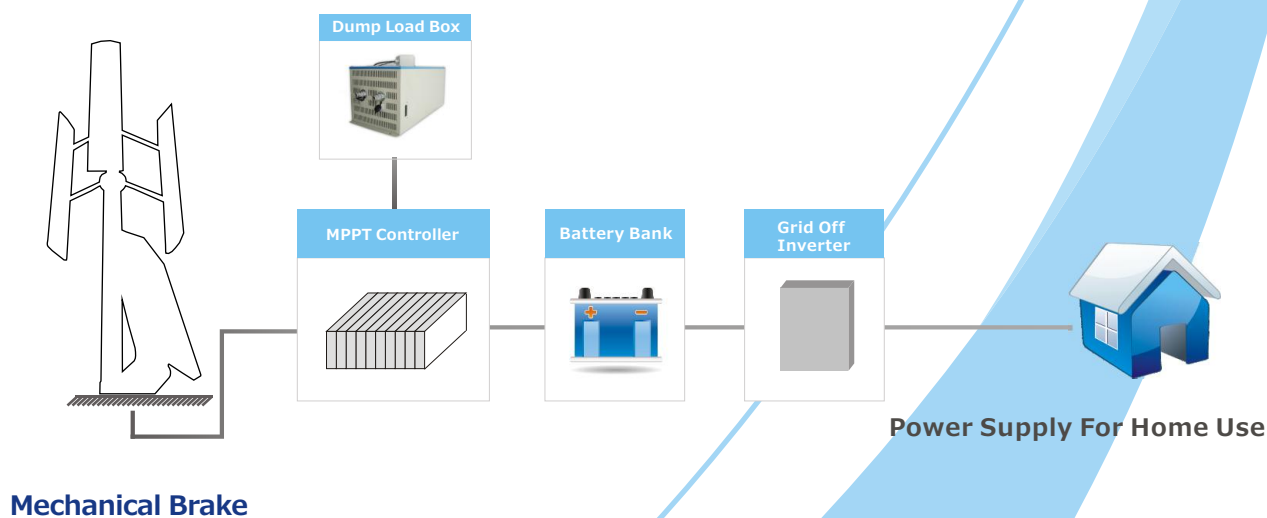


Wiring Diagram

Grid-on



Grid-off



5 YEAR WARRANTY



Gel and AGM Batteries

www.victronenergy.com



**AGM Battery
12V 90Ah**



GEL OPzV 2V cell

1. VRLA technology

VRLA stands for Valve Regulated Lead Acid, which means that the batteries are sealed. Gas will escape through the safety valves only in case of overcharging or cell failure. VRLA batteries are maintenance free for life.

2. Sealed (VRLA) AGM Batteries

AGM stands for Absorbent Glass Mat. In these batteries the electrolyte is absorbed into a glass-fibre mat between the plates by capillary action. As explained in our book 'Energy Unlimited', AGM batteries are more suitable for short-time delivery of very high currents (engine starting) than gel batteries.

3. Sealed (VRLA) Gel Batteries

Here the electrolyte is immobilized as gel. Gel batteries in general have a longer service life and better cycle capacity than AGM batteries.

4. Low Self-Discharge

Because of the use of lead calcium grids and high purity materials, Victron VRLA batteries can be stored during long periods of time without recharge. The rate of self-discharge is less than 2% per month at 20°C. The self-discharge doubles for every increase in temperature by 10°C.

Victron VRLA batteries can therefore be stored for up to a year without recharging, if kept under cool conditions.

5. Exceptional Deep Discharge Recovery

Victron VRLA batteries have exceptional discharge recovery, even after deep or prolonged discharge.

Nevertheless repeatedly deep and prolonged discharge has a very negative effect on the service life of all lead acid batteries, Victron batteries are no exception.

6. Battery Discharging Characteristics

The rated capacity of Victron AGM and Gel Deep Cycle batteries refers to 20 hour discharge, in other words: a discharge current of 0,05 C.

The rated capacity of Victron Tubular Plate Long Life batteries refers to 10 hours discharge.

The effective capacity decreases with increasing discharge current (see table 1). Please note that the capacity reduction will be even faster in case of a constant power load, such as an inverter.

Discharg time (constant current)	End Voltage V	AGM 'Deep Cycle' %	Gel 'Deep Cycle' %	Gel 'Long Life' %
20 hours	10,8	100	100	112
10 hours	10,8	92	87	100
5 hours	10,8	85	80	94
3 hours	10,8	78	73	79
1 hour	9,6	65	61	63
30 min.	9,6	55	51	45
15 min.	9,6	42	38	29
10 min.	9,6	38	34	21
5 min.	9,6	27	24	
5 seconds		8 C	7 C	

**Table 1: Effective capacity as a function of discharge time
(the lowest row gives the maximum allowable 5 seconds discharge current)**

Our AGM deep cycle batteries have excellent high current performance and are therefore recommended for high current applications such as engine starting. Due to their construction, Gel batteries have a lower effective capacity at high discharge currents. On the other hand, Gel batteries have a longer service life, both under float and cycling conditions.

7. Effect of temperature on service life

High temperature has a very negative effect on service life. The service life of Victron batteries as a function of temperature is shown in table 2.

Average Temperature	AGM 'Deep Cycle' years	Gel 'Deep Cycle' years	Gel 'Long Life' years
20°C / 68°F	7 - 10	12	20
30°C / 86°F	4	6	10
40°C / 104°F	2	3	5

Table 2: Design service life of Victron batteries under float service

8. Effect of temperature on capacity

As is shown by the graph below, capacity reduces sharply at low temperatures.

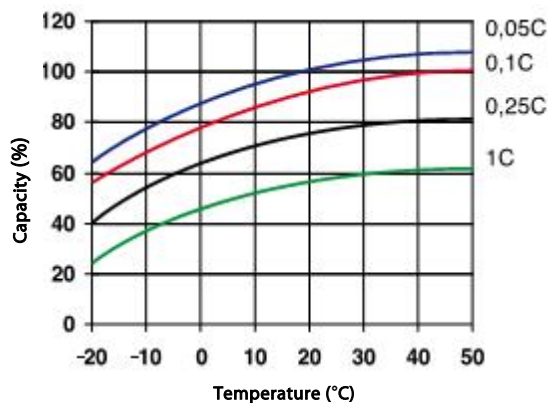


Fig. 1: Effect of temperature on capacity

9. Cycle life of Victron batteries

Batteries age due to discharging and recharging. The number of cycles depends on the depth of discharge, as is shown in figure 2.

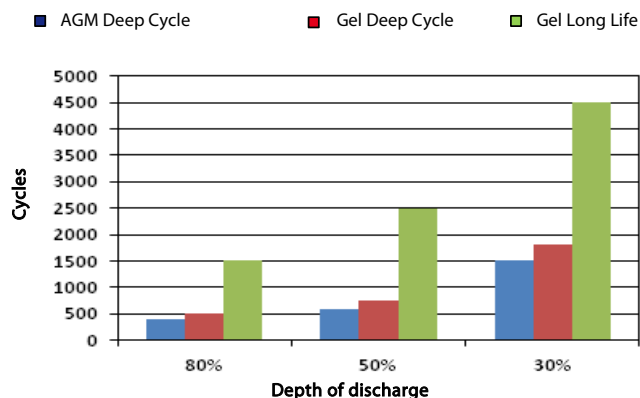


Fig. 2: Cycle life

10. Battery charging in case of cycle use: the 3-step charge curve

The most common charge curve used to charge VRLA batteries in case of cyclic use is the 3-step charge curve, whereby a constant current phase (the bulk phase) is followed by two constant voltage phases (absorption and float), see fig. 3.

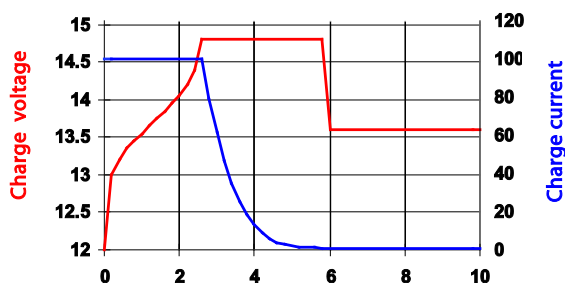


Fig. 3: Three step charge curve

During the absorption phase the charge voltage is kept at a relatively high level in order to fully recharge the battery within reasonable time. The third and last phase is the float phase: the voltage is lowered to standby level, sufficient to compensate for self-discharge.

Disadvantages of the traditional 3-step charge curve:

- During the bulk phase the current is kept at a constant and often high level, even after the gassing voltage (14,34V for a 12V battery) has been exceeded. This can lead to excessive gas pressure in the battery. Some gas will escape through the safety valves, reducing service life.
- Thereafter the absorption voltage is applied during a fixed period of time, irrespective of how deep the battery has been discharged previously. A full absorption period after a shallow discharge will overcharge the battery, again reducing service life (a.o. due to accelerated corrosion of the positive plates).
- Research has shown that battery life can be increased by decreasing float voltage to an even lower level when the battery is not in use.

11. Battery charging: longer battery life with Victron 4-step adaptive charging

Victron developed the adaptive charge curve. The 4-step adaptive charge curve is the result of years of research and testing.

The Victron four-step adaptive charge curve solves the 3 main problems of the 3-step curve:

- **Battery Safe Mode**
In order to prevent excessive gassing, Victron has invented the 'Battery Safe Mode'. The Battery Safe Mode will limit the rate of voltage increase once the gassing voltage has been reached. Research has shown that this will reduce internal gassing to a safe level.
- **Variable absorption time**
Based on the duration of the bulk stage, the charger calculates how long the absorption time should be in order to fully charge the battery. If the bulk time is short, this means the battery was already charged and the resulting absorption time will also be short, whereas a longer bulk time will also result in a longer absorption time.
- **Storage mode**
After completion of the absorption period the battery should be fully charged, and the voltage is lowered to the float or standby level. If no discharge occurs during the next 24 hours, the voltage is reduced even further and the battery goes into storage mode. The lower storage voltage reduces corrosion of the positive plates. Once every week the charge voltage is increased to the absorption level for a short period to compensate for self-discharge (Battery Refresh mode).

12. Battery charging in case of standby use: constant voltage float charging

When a battery is not frequently deeply discharged, a 2-step charge curve can be used. During the first phase the battery is charged with a limited current (the bulk phase). Once a pre-set voltage has been reached the battery is kept at that voltage (the float phase).

This charge method is used for starter batteries in vehicles and in uninterruptible power supplies (UPS).

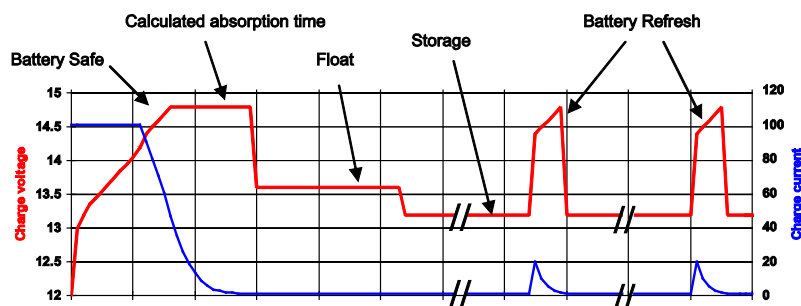


Figure 3:
Four-step adaptive charge curve

Fig. 4: Four-step adaptive charge curve

13. Optimum charge voltage of Victron VRLA batteries

The recommended charge voltage settings for a 12V battery are shown in table 3.

14. Effect of temperature on charging voltage

The charge voltage should be reduced with increased temperature. Temperature compensation is required when the temperature of the battery is expected to be less than 10°C / 50°F or more than 30°C / 85°F during long periods of time. The recommended temperature compensation for Victron VRLA batteries is -4 mV / Cell (-24 mV / °C for a 12V battery). The centre point for temperature compensation is 25°C / 70°F.

15. Charge current

The charge current should preferably not exceed 0,2C (20A for a 100Ah battery). The temperature of a battery will increase by more than 10°C if the charge current exceeds 0,2C. Therefore temperature compensation is required if the charge current exceeds 0,2C.

	Float Service (V)	Cycle service Normal (V)	Cycle service Fastest recharge (V)
Victron AGM 'Deep Cycle'			
Absorption		14,2 - 14,6	14,6 - 14,9
Float	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8
Storage	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5
Victron Gel 'Deep Cycle'			
Absorption		14,1 - 14,4	
Float	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8	
Storage	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5	
Victron Gel 'Long Life'			
Absorption		14,0 - 14,2	
Float	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8	
Storage	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5	

Table 3: Recommended charge voltage

12 Volt Deep Cycle AGM							General Specification
Article number	Ah	V	l x w x h mm	Weight kg	CCA @0°F	RES CAP @80°F	Technology: flat plate AGM Terminals: copper
BAT406225084	240	6	320x176x247	31	1500	480	Rated capacity: 20 hr. discharge at 25°C Float design life: 7-10 years at 20°C Cycle design life: 400 cycles at 80% discharge 600 cycles at 50% discharge 1500 cycles at 30% discharge
BAT212070084	8	12	151x65x101	2,5			
BAT212120084	14	12	151x98x101	4,1			
BAT212200084	22	12	181x77x167	5,8			
BAT412350084	38	12	197x165x170	12,5			
BAT412550084	60	12	229x138x227	20	450	90	
BAT412600084	66	12	258x166x235	24	520	100	
BAT412800084	90	12	350x167x183	27	600	145	
BAT412101084	110	12	330x171x220	32	800	190	
BAT412121084	130	12	410x176x227	38	1000	230	
BAT412151084	165	12	485x172x240	47	1200	320	
BAT412201084	220	12	522x238x240	65	1400	440	

12 Volt Deep Cycle GEL							General Specification
Article number	Ah	V	l x w x h mm	Weight kg	CCA @0°F	RES CAP @80°F	Technology: flat plate GEL Terminals: copper
BAT412550104	60	12	229x138x227	20	300	80	Rated capacity: 20 hr. discharge at 25°C Float design life: 12 years at 20°C Cycle design life: 500 cycles at 80% discharge 750 cycles at 50% discharge 1800 cycles at 30% discharge
BAT412600100	66	12	258x166x235	24	360	90	
BAT412800104	90	12	350x167x183	26	420	130	
BAT412101104	110	12	330x171x220	33	550	180	
BAT412121104	130	12	410x176x227	38	700	230	
BAT412151104	165	12	485x172x240	48	850	320	
BAT412201104	220	12	522x238x240	66	1100	440	
BAT412126101	265	12	520x268x223	75	650	400	

2 Volt Long Life GEL					General Specification
Article number	Ah	V	l x b x h mm	Weight kg	Technology: tubular plate GEL Terminals: copper
BAT702601260	600	2	145x206x688	49	Rated capacity: 10 hr. discharge at 25°C Float design life: 20 years at 20°C Cycle design life: 1500 cycles at 80% discharge 2500 cycles at 50% discharge 4500 cycles at 30% discharge
BAT702801260	800	2	210x191x688	65	
BAT702102260	1000	2	210x233x690	80	
BAT702122260	1200	2	210x275x690	93	
BAT702152260	1500	2	210x275x840	115	
BAT702202260	2000	2	215x400x815	155	
BAT702252260	2500	2	215x490x815	200	
BAT702302260	3000	2	215x580x815	235	

Other capacities and terminal types: at request

24V 180Ah/100Ah Lithium-Ion Battery and Lynx Ion + Shunt

www.victronenergy.com



**24V 180Ah and 100Ah
Lithium-Ion Battery**



Lynx Ion + Shunt

The advantages of a Lithium-ion battery over conventional lead-acid batteries

- High energy density: more energy with less weight;
- High charge currents (shortens the charge period);
- High discharge currents (enabling for example electrical cooking on a small battery bank);
- Long battery life (up to six times the battery life of a conventional battery);
- High efficiency between charging and discharging (very little energy loss due to heat development);
- Higher continuous power available.

Why Lithium-Iron-Phosphate?

Lithium-Iron-Phosphate (LiFePO₄ or LFP) is the safest of the mainstream Li-ion battery types. The nominal voltage of a LFP cell is 3,2V (lead-acid: 2V/cell). A 25,6V LFP battery consists of 8 cells connected in series.

Complete system

A complete system consists of:

- One or more **24V 180Ah or 100Ah Lithium-Ion batteries**.
- (optional) The **Lynx Power In**, a modular dc bus bar.
- The **Lynx Ion + Shunt** is the Battery Management System (BMS) that controls the batteries. It contains a main safety contactor and a shunt. There are two models are available: a 350A model and a 600A model.
- (optional) The **Lynx Distributor**, a DC distribution system with fuses.
- (optional) The **Ion Control**, a digital control panel.
- (optional) The **Color Control GX**, a more advanced digital control panel

The advantages of the Victron Lynx Lithium-ion battery system

The modular system used adds the following advantages:

- The Victron Lithium-Ion Battery System is easy to install due to its modularity. No complicated wiring diagrams are required.
- Detailed information is available on the waterproof Ion Control display.
- The relay in the Lynx-Ion + Shunt provides maximum safety: in case the chargers or loads do not respond to the commands from the Lynx-Ion + Shunt, the main safety relay will open to prevent permanent damage to the batteries.
- For typical marine installations there is an extra small output, so you can still power the bilge pump while disconnecting all other house loads by opening the main relay.

24V 180Ah/100Ah Lithium-Ion Batteries

The base of the Victron Lithium-Ion Battery System is formed by individual 24V/180Ah Lithium-ion batteries. They have a built-in Cell Management System (BMS) which protects the battery on a cell level. It monitors individual cell voltage and system temperature, and actively balances the individual cells. All measured parameters are sent to the Lynx Ion which monitors the system as a whole.

Lynx Ion + Shunt

The Lynx Ion + Shunt is the BMS. It contains the safety contactor, and controls the cell-balancing, charging and discharging of the system. Also it keeps track of the State of Charge of the batteries, and calculates the Time to Go. It protects the battery pack from both overcharging and depletion. When an overcharge is imminent, it will signal the charging devices to decrease or stop charging. This is done with the VE.Can bus (NMEA2000) compatible, and also via the two available open/close contacts. Same when the battery is nearing empty, and there is no charging capability available. It will signal big loads to switch off.

For both overcharging and depletion there is a last safety resort, the built-in 350A or 600 A contactor. In case signalling does not stop the imminent overcharge or depletion, it will open the contactor.

VE.Can / NMEA2000 Canbus

Communication with the outside world is done via the VE.Can protocol.

Ion Control

See the separate [Ion Control](#) datasheet for more information.

Color Control GX

See the separate [Color Control GX](#) datasheet for more information.



Ion control: Main screen



Ion control: History screen



Ion control: Lynx Ion Status

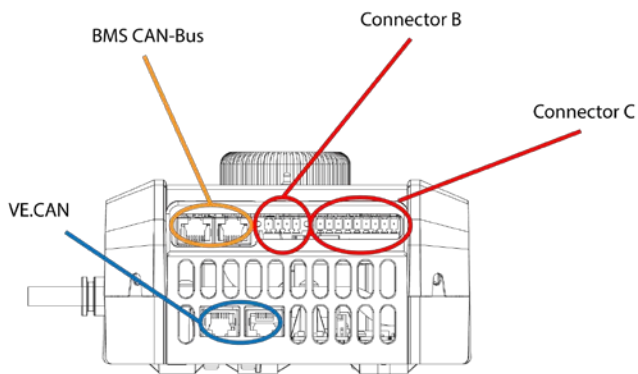
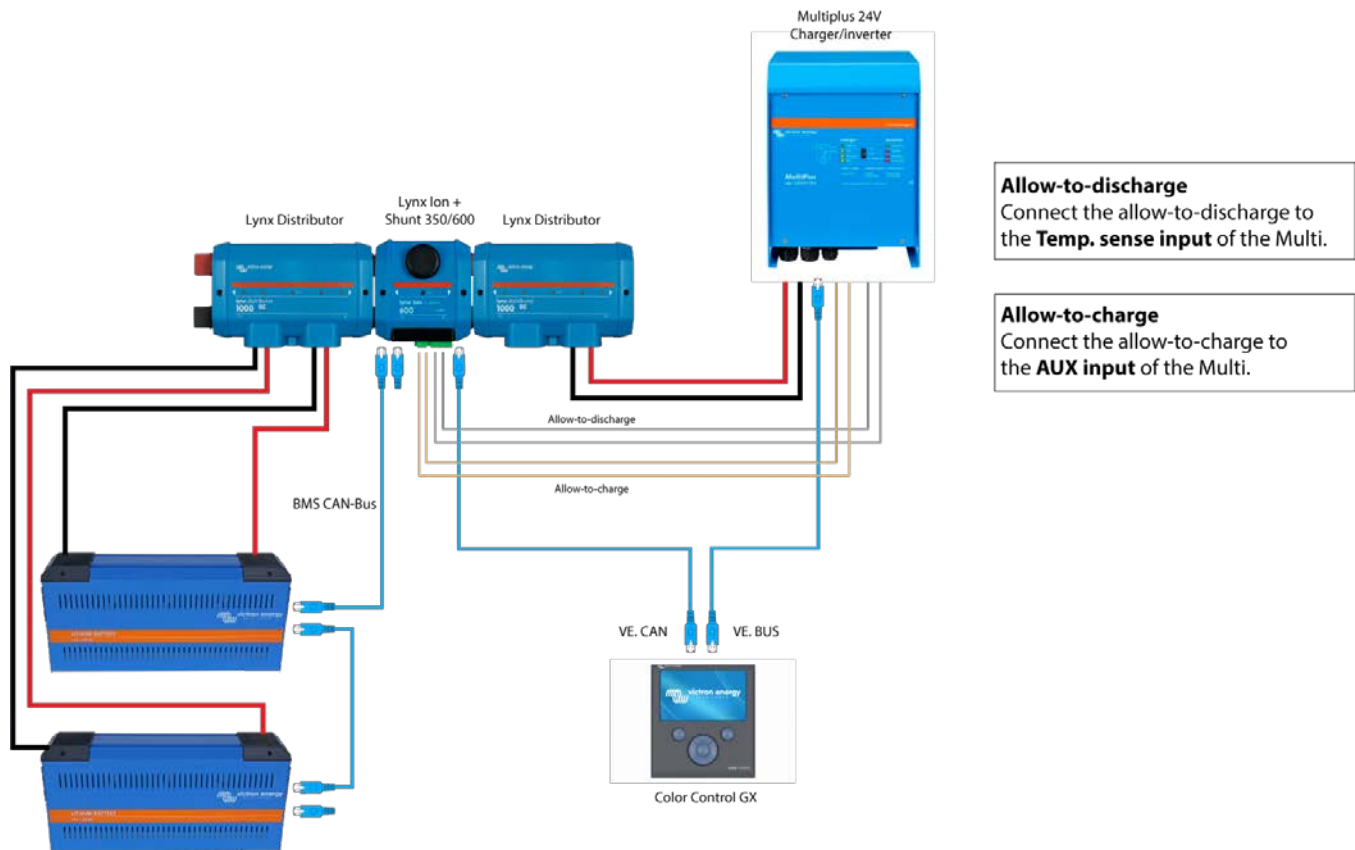
Lithium-Ion battery specifications

	Lithium-ion 24V 100Ah 2.6kWh battery	Lithium-ion 24V 180Ah 4.75kWh battery
Technology	Lithium iron phosphate (LiFePo4)	Lithium iron phosphate (LiFePo4)
Nominal voltage	25,6V	25,6V
Nominal capacity	100Ah	180Ah
Nominal power	2,6kWh	4,75kWh
Weight	30kg	55kg
Power/Weight ratio	86Wh/kg	86Wh/kg
Dimensions (lxwxh)	592x154x278mm	623x193x351mm
Charge/Discharge		
Charge cut-off voltage at 0.05C	28,8V	28,8V
Discharge cut-off voltage	20V	20V
Recommended charge/discharge current	30A (0,3C)	54A (0,3C)
Maximum charge current (1C)	100A	180A
Maximum discharge current (1.5C)	150A	270A
Pulse discharge current (10s)	500A	1000A
Cycle Life @80% DOD (0.3C)	3000	3000
Configuration		
Series configuration	Yes, up to 2 (more in series on request)	Yes, up to 2 (more in series on request)
Parallel configuration	Yes, easy up to 10 (more parallel on request)	Yes, easy up to 10 (more parallel on request)
Environmental		
Operating temp. charge	0~45°C	0~45°C
Operating temp. discharge	-20~55°C	-20~55°C
Storage temp.	-20~45°C	-20~45°C
Standards		
EMC: Emission	EN-IEC 61000-6-3:2007/A1:2011/C11:2012	
EMC: Immunity	EN-IEC 61000-6-1:2007	
Low voltage directive	EN 60335-1:2012/AC:2014	

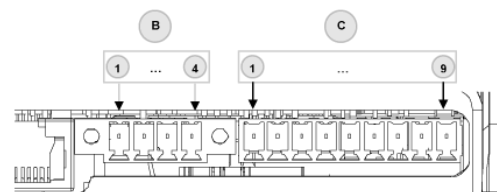
Lynx Ion + Shunt specifications

Lynx Ion + Shunt	350A	600A
Maximum number batteries in series	2 (= 48 VDC)	
Maximum number batteries in parallel	48	
Supply voltage range	9 ... 60VDC	
Standby mode	73mW @ 26,2V and 138mW @ 52,4V	
Active mode	8,7 W	
Main safety contactor	350A	600A
Enclosure		
Material	ABS	
Weight	2,0kg	
Dimensions (lxwxh)	185 x 165 x 85 mm	
IO		
Aux. output	5A (output voltage = battery voltage), short circuit protection	
External safety contactor	5A (output voltage = battery voltage), short circuit protection	
Allow-to-charge	1A @ 60VDC, potential free	
Allow-to-discharge	1A @ 60VDC, potential free	
External status signal	12V / 140mA	
Environmental		
Operating temperature range	-20 °C to 50 °C	
Humidity	Max. 95% (non-condensing)	
Protection class	IP22	IP20
Standards		
EMC: Emission	EN-IEC 61000-6-3:2007/A1:2011/C11:2012	
EMC: Immunity	EN-IEC 61000-6-1:2007	
Low voltage directive	EN 60335-1:2012/AC:2014	
RoHs	EN 50581:2012	

Block diagram Lithium-Ion Battery System



Lynx Ion + Shunt connection overview:



Connector pins and specifications					
Conn.	Pin	I/O	Voltage Max.	Current Max.	Purpose
B	1	Out	+ V System	5 A	External status output
	2		GND		
	3	Out	+ V System	5 A	External safety contactor
	4		GND		
C	1		60 V	1,0 A @ 60 V	Allow-to-charge
	2		60 V	1,0 A @ 60 V	Allow-to-discharge
	3		60 V	1,0 A @ 60 V	Future use
	4		60 V	1,0 A @ 60 V	
	5		60 V	1,0 A @ 60 V	
	6		60 V	1,0 A @ 60 V	
	7	In			External START-button
	8	Out	12 V	140 mA	External status signal
	9				GND used for status signal and/or START-button



FLOODED DEEP CYCLE BATTERIES

12 MD 375P

12 VOLTS



CONTAINER: (INNER)	Polypropylene
COVER: (INNER)	Polypropylene - heat sealed to inner container
CONTAINER: (OUTER)	High Density Polyethylene
COVER: (OUTER)	High Density Polyethylene snap fit to outer container
TERMINALS:	Bolt-on Standard
HANDLES:	Molded

WEIGHT DRY:	78 kg	171 Lbs.
WEIGHT WET:	104 kg	230 Lbs.
LENGTH:	470 mm	18 1/2 Inches
WIDTH:	383 mm	15 1/16 Inches
HEIGHT:	319 mm	12 9/16 Inches

PLATE HEIGHT:	152 mm	6.000 Inches
PLATE WIDTH:	143 mm	5.625 Inches
THICKNESS (POSITIVE):	3.56 mm	0.140 Inches
THICKNESS (NEGATIVE):	3.05 mm	0.120 Inches



CELLS:	25 Plates/Cell	6 Cell
SEPARATOR THICKNESS:	2 mm	0.061 Inches
GLASS MAT INSULATION:	1 mm	0.02 Inches
ELECTROLYTE RESERVE: ABOVE PLATES	57 mm	2.25 Inches

6 removable bolt-together cells in 2 x Group 27 battery box

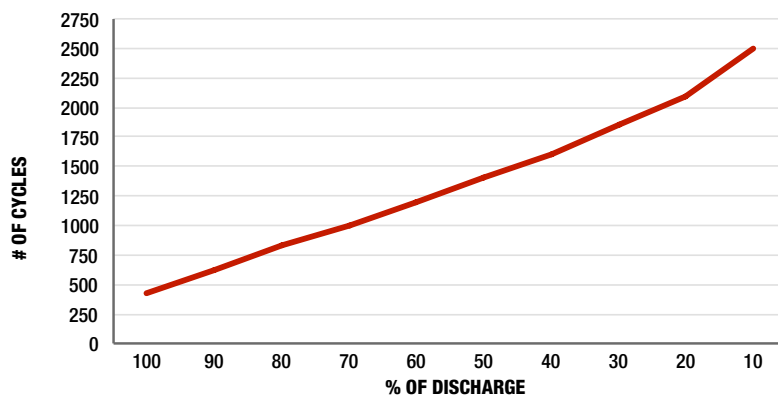
COLD CRANK AMPS (CCA):	0°F / -17.8°C	1530
MARINE CRANK AMPS (MCA):	32°F / 0°C	1913
RESERVE CAPACITY (RC @ 25A):		775 Minutes

CAPACITY

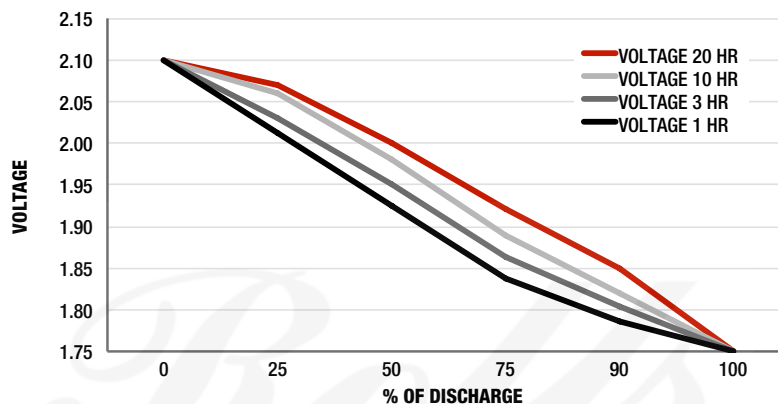
375 AH

HOURLY RATE:	SPECIFIC GRAVITY	CAPACITY / AMP HOUR	CURRENT / AMPS
@ 100 HOUR RATE	1.280	499	4.99
@ 72 HOUR RATE	1.280	473	6.56
@ 50 HOUR RATE	1.280	446	8.93
@ 24 HOUR RATE	1.280	386	16.09
@ 20 HOUR RATE	1.280	375	18.75
@ 15 HOUR RATE	1.280	353	23.50
@ 12 HOUR RATE	1.280	334	27.81
@ 10 HOUR RATE	1.280	319	31.88
@ 8 HOUR RATE	1.280	300	37.50
@ 6 HOUR RATE	1.280	278	46.25
@ 5 HOUR RATE	1.280	263	52.50
@ 4 HOUR RATE	1.280	244	60.94
@ 3 HOUR RATE	1.280	221	73.75
@ 2 HOUR RATE	1.280	191	95.63
@ 1 HOUR RATE	1.280	135	135.00

CYCLE LIFE VS. DEPTH OF DISCHARGE



VOLTAGE VS. DEPTH OF DISCHARGE



BlueSolar Charge Controllers with screw- or MC4 PV connection

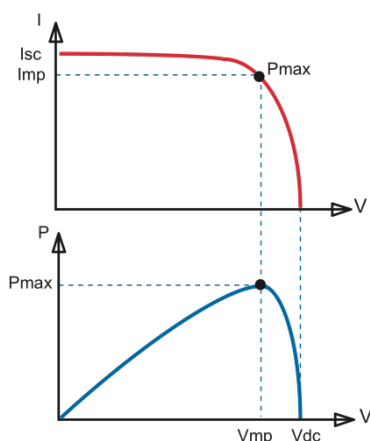
MPPT 150/45, MPPT 150/60, MPPT 150/70, MPPT 150/85, MPPT 150/100

www.victronenergy.com


**Solar Charge Controller
MPPT 150/70-Tr**



**Solar Charge Controller
MPPT 150/70-MC4**



Maximum Power Point Tracking

Upper curve:

Output current (I) of a solar panel as function of output voltage (V).
The Maximum Power Point (MPP) is the point Pmax along the curve where the product I x V reaches its peak.

Lower curve:

Output power $P = I \times V$ as function of output voltage.
When using a PWM (not MPPT) controller the output voltage of the solar panel will be nearly equal to the voltage of the battery, and will be lower than Vmp.

Ultra-fast Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Especially in case of a clouded sky, when light intensity is changing continuously, an ultra-fast MPPT controller will improve energy harvest by up to 30% compared to PWM charge controllers and by up to 10% compared to slower MPPT controllers.

Advanced Maximum Power Point Detection in case of partial shading conditions

If partial shading occurs, two or more maximum power points may be present on the power-voltage curve. Conventional MPPTs tend to lock to a local MPP, which may not be the optimum MPP.

The innovative BlueSolar algorithm will always maximize energy harvest by locking to the optimum MPP.

Outstanding conversion efficiency

No cooling fan. Maximum efficiency exceeds 98%.

Flexible charge algorithm

Fully programmable charge algorithm (see the software page on our website), and eight pre-programmed algorithms, selectable with a rotary switch (see manual for details).

Extensive electronic protection

Over-temperature protection and power derating when temperature is high.
PV short circuit and PV reverse polarity protection.

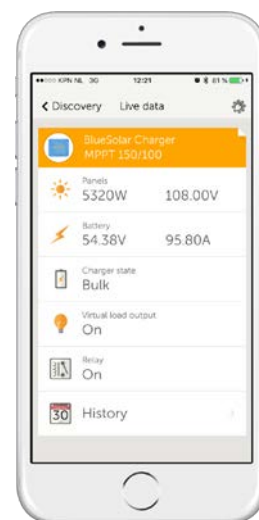
PV reverse current protection.

Internal temperature sensor

Compensates absorption and float charge voltage for temperature.

Real-time data display options

- Apple and Android smartphones, tablets and other devices: see the VE.Direct to Bluetooth Smart dongle
- ColorControl panel



BlueSolar Charge Controller	MPPT 150/45	MPPT 150/60	MPPT 150/70	MPPT 150/85	MPPT 150/100
Battery voltage	12 / 24 / 48V Auto Select (software tool needed to select 36V)				
Rated charge current	45A	60A	70A	85A	100A
Nominal PV power, 12V 1a,b)	650W	860W	1000W	1200W	1450W
Nominal PV power, 24V 1a,b)	1300W	1720W	2000W	2400W	2900W
Nominal PV power, 48V 1a,b)	2600W	3440W	4000W	4900W	5800W
Max. PV short circuit current 2)	50A	50A	50A	70A	70A
Maximum PV open circuit voltage	150V absolute maximum coldest conditions 145V start-up and operating maximum				
Maximum efficiency	98%				
Self-consumption	10 mA				
Charge voltage 'absorption'	Default setting: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (adjustable)				
Charge voltage 'float'	Default setting: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (adjustable)				
Charge algorithm	multi-stage adaptive				
Temperature compensation	-16 mV / -32 mV / -68 mV / °C				
Protection	Battery reverse polarity (fuse, not user accessible) PV reverse polarity / Output short circuit / Over temperature				
Operating temperature	-30 to +60°C (full rated output up to 40°C)				
Humidity	95%, non-condensing				
Data communication port and remote on-off	VE.Direct (see the data communication whitepaper on our website)				
Parallel operation	Yes (not synchronized)				
ENCLOSURE					
Colour	Blue (RAL 5012)				
PV terminals 3)	35 mm ² / AWG2 (Tr models) Two sets of MC4 connectors (MC4 models up to 150/70) Three sets of MC4 connectors (MC4 models 150/85 and 150/100)				
Battery terminals	35 mm ² / AWG2				
Protection category	IP43 (electronic components), IP22 (connection area)				
Weight	3kg			4,5kg	
Dimensions (h x w x d) in mm	Tr models: 185 x 250 x 95 MC4 models: 215 x 250 x 95			Tr models: 216 x 295 x 103 MC4 models: 246 x 295 x 103	
STANDARDS					
Safety	EN/IEC 62109				
1a) If more PV power is connected, the controller will limit input power. 1b) PV voltage must exceed Vbat + 5V for the controller to start. Thereafter minimum PV voltage is Vbat + 1V. 2) A PV array with a higher short circuit current may damage the controller. 3) MC4 models: several splitter pairs may be needed to parallel the strings of solar panels. Maximum current per MC4 connector: 30A (the MC4 connectors are parallel connected to one MPPT tracker)					

Optimal Wind MPPT Battery Charge System



Features

- Integrated with Wind Interface (Included the rectifier and braking unit), Maximum Power Point Tracking (MPPT), battery charge management and state of charge information
- Continuous output power rating without de-rating at up to 50 °C ambient temperature
- Built-in Battery Energy Monitor that tracks power production and consumption to calculate the energy remaining in battery. State of charge (SOC) is displayed in percent full, Amp-hours, Watt-hours, and 90 days of energy-harvest history is stored in the wind MPPT charger
- Supports Flooded Lead Acid (FLA), GEL, Absorbed Glass Mat (AGM) batteries; 2/3/4-stage charging with adjustable set points for all parameters
- Up to 220 VAC input voltage from Wind Turbine
- Easy stacking of up to 16 units in parallel for high currents
- Precision charging of 12V/24V/36V/48V batteries with easy set-up and using battery voltage sense (BVS) wires
- Built-in temperature compensation function for safe and complete charging
- The Wind MPPT Charger with the rectifier and braking unit for wind system is required to control and stop the control from overload condition caused by over large wind speed
- The Maximum Automatic Brake Function is 240 VDC. Supply 5 levels of the Automatic Brake Function: 200, 210, 220, 230, 240 VDC (Adjustable)
- When WS-100CX Wind MPPT Charger connects with 48VDC batteries, it can support 6.0KW Wind Turbine

Specifications

Model No.	WS-100CX-MPPT
ELECTRICAL	
Input Voltage Range (no damage)	0 ~ 220 VAC
Operating Input Voltage Range from PMG (Permanent Magnet Generator)	20 ~ 220 VAC 0 ~ 600 Hz Optimal Range: 20 ~ 180 VAC
System Voltage Ratings	12, 24, 36, 48 VDC
Current Ratings-Battery Charge Control	100A
Max. Current in the Brake Resistor	100A Diversion load
DC Output Voltage Range	16 ~ 240 VDC Operating 240 VDC Maximum
Automatic Brake Function	5 Level: 200, 210, 220, 230, 240 VDC (Adjustable) ※ Can be customized for the wind turbines
Maximum Wind Turbine Capacity	
Charging 48 VDC Batteries	6.0KW
Charging 36 VDC Batteries	4.5KW
Charging 24 VDC Batteries	3.0KW
Charging 12 VDC Batteries	1.5KW
Charge Regulation Modes	Bulk, Absorption, Float, Auto / Manual Equalization
Battery Temperature Compensation	5.0 mV per °C, per 2 volt cell

DC to DC Conversion Capability	12V Battery: 16 ~ 240VDC
	24V Battery: 32 ~ 240VDC
	36V Battery: 48 ~ 240VDC
	48V Battery: 64 ~ 240VDC
Display Status	Built-in 2-line, 20-character LCD with backlight LCD status screen displays input voltage and current, output voltage and current, charge-mode, Battery SOC
Data Logging	Logs energy harvested for 90 days, LCD displays WH, KWH, AH
Energy Monitor	LCD shows SOC, AH, WH, and present charge or discharge current. A 50mV / 500Amp shunt is required to use
Auxiliary Relays	Two independent relays with from A (SPST) contacts for control of external devices. Contact rating is 3 Amps, 50VDC
Operation Temperature	Full Power Output to +50°C ambient
Standby Power	< 2 Watts
Relative Humidity	0 ~ 100% condensing
MECHANICAL	
Dimensions (H x W x D) mm	401 x 258 x 183
Weight (kgs)	8.3
OPTIONS	
PC Monitoring Unit (PMU-WS)	Monitoring the values displayed in PC
Shunt	Measuring the current drawn into and out of the battery
Optional Diversion Load	
Specifications subject to change without notice	

Phoenix Inverters

1200VA – 5000VA (per module)

www.victronenergy.com



Phoenix Inverter
24/5000



Phoenix Inverter Compact
24/1600

SinusMax - Superior engineering

Developed for professional duty, the Phoenix range of inverters is suitable for the widest range of applications. The design criteria have been to produce a true sine wave inverter with optimized efficiency but without compromise in performance. Employing hybrid HF technology, the result is a top quality product with compact dimensions, light in weight and capable of supplying power, problem-free, to any load.

Extra start-up power

A unique feature of the SinusMax technology is very high start-up power. Conventional high frequency technology does not offer such extreme performance. Phoenix Inverters, however, are well suited to power up difficult loads such as refrigeration compressors, electric motors and similar appliances.

Virtually unlimited power thanks to parallel and 3-phase operation capability

Up to 6 units inverters can operate in parallel to achieve higher power output. Six 24/5000 units, for example, will provide 24kW / 30kVA output power. Operation in 3-phase configuration is also possible.

To transfer the load to another AC source: the automatic transfer switch

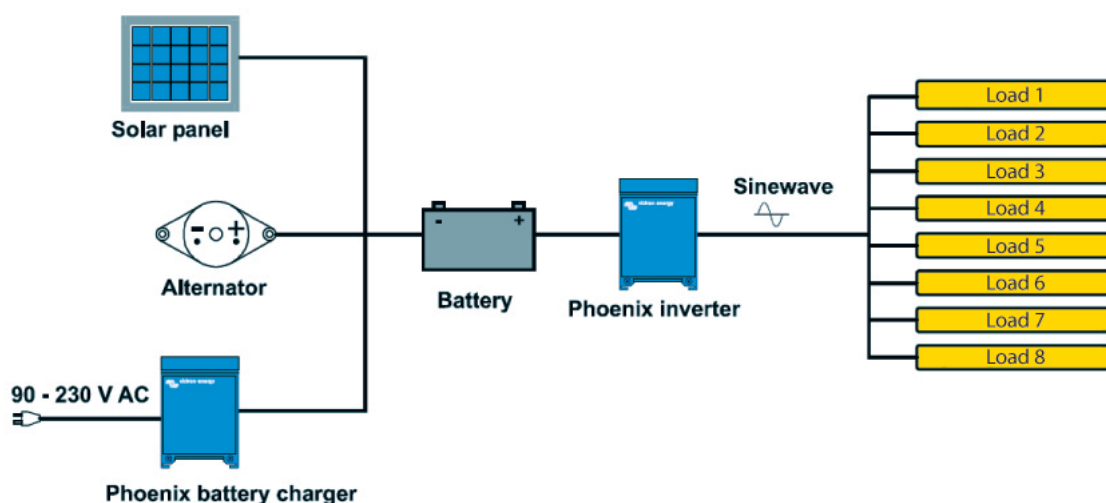
If an automatic transfer switch is required we recommend using the MultiPlus inverter/charger instead. The switch is included in these products and the charger function of the MultiPlus can be disabled. Computers and other electronic equipment will continue to operate without disruption because the MultiPlus features a very short switchover time (less than 20 milliseconds).

Computer interface

All models have a RS-485 port. All you need to connect to your PC is our MK3-USB VE.Bus to USB interface (see under accessories). Together with our VEConfigure software, which can be downloaded free of charge from our website, all parameters of the inverters can be customized. This includes output voltage and frequency, over and under voltage settings and programming the relay. This relay can for example be used to signal several alarm conditions, or to start a generator. The inverters can also be connected to VENet, the new power control network of Victron Energy, or to other computerized monitoring and control systems.

New applications of high power inverters

The possibilities of paralleled high power inverters are truly amazing. For ideas, examples and battery capacity calculations please refer to our book 'Energy Unlimited' (available free of charge from Victron Energy and downloadable from www.victronenergy.com).



Phoenix Inverter	C12/1200 C24/1200	C12/1600 C24/1600	C12/2000 C24/2000	12/3000 24/3000 48/3000	24/5000 48/5000
Parallel and 3-phase operation	Yes				
INVERTER					
Input voltage range (V DC)	9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V				
Output	Output voltage: 230 VAC ±2% Frequency: 50 Hz ± 0,1% (1)				
Cont. output power at 25°C (VA) (2)	1200	1600	2000	3000	5000
Cont. output power at 25°C (W)	1000	1300	1600	2400	4000
Cont. output power at 40°C (W)	900	1200	1450	2200	3700
Cont. output power at 65°C (W)	600	800	1000	1700	3000
Peak power (W)	2400	3000	4000	6000	10000
Max. efficiency 12/ 24 /48 V (%)	92 / 94 / 94	92 / 94 / 94	92 / 92	93 / 94 / 95	94 / 95
Zero load power 12 / 24 / 48 V (W)	8 / 10 / 12	8 / 10 / 12	9 / 11	20 / 20 / 25	30 / 35
Zero load power in AES mode (W)	5 / 8 / 10	5 / 8 / 10	7 / 9	15 / 15 / 20	25 / 30
Zero load power in Search mode (W)	2 / 3 / 4	2 / 3 / 4	3 / 4	8 / 10 / 12	10 / 15
GENERAL					
Programmable relay (3)	Yes				
Protection (4)	a - g				
VE.Bus communication port	For parallel and three phase operation, remote monitoring and system integration				
Remote on-off	Yes				
Common Characteristics	Operating temperature range: -40 to +65°C (fan assisted cooling) Humidity (non-condensing): max 95%				
ENCLOSURE					
Common Characteristics	Material & Colour: aluminium (blue RAL 5012) Protection category: IP 21				
Battery-connection	battery cables of 1.5 meter included		M8 bolts	2+2 M8 bolts	
230 V AC-connection	G-ST18i plug		Spring-clamp	Screw terminals	
Weight (kg)	10		12	18	30
Dimensions (hxxwxd in mm)	375x214x110		520x255x125	362x258x218	444x328x240
STANDARDS					
Safety	EN 60335-1				
Emission Immunity	EN 55014-1 / EN 55014-2				
1) Can be adjusted to 60 Hz and to 240 V 2) Non-linear load, crest factor 3:1 3) Programmable relay that can a.o. be set for general alarm, DC under voltage or genset start/stop function. AC rating: 230 V / 4 A DC rating: 4 A up to 35 VDC, 1A up to 60VDC	4) Protection key: a) output short circuit b) overload c) battery voltage too high d) battery voltage too low e) temperature too high f) 230 V AC on inverter output g) input voltage ripple too high				



Phoenix Inverter Control

This panel can also be used on a MultiPlus Inverter/Charger when an automatic transfer switch but no charger function is desired. The brightness of the LEDs is automatically reduced during night time.

Computer controlled operation and monitoring

Several interfaces are available:



Color Control GX

Provides monitor and control. Locally, and also remotely on the [VRM Portal](#).



MK3-USB VE.Bus to USB interface

Connects to a USB port ([see 'A guide to VEConfigure'](#))



VE.Bus to NMEA 2000 interface

Connects the device to a NMEA 2000 marine electronics network. See the [NMEA 2000 & MFD integration guide](#)



BMV-700 Battery Monitor

The BMV-700 Battery Monitor features an advanced microprocessor control system combined with high resolution measuring systems for battery voltage and charge/discharge current. Besides this, the software includes complex calculation algorithms, like Peukert's formula, to exactly determine the state of charge of the battery. The BMV-700 selectively displays battery voltage, current, consumed Ah or time to go. The monitor also stores a host of data regarding performance and use of the battery.

Several models available (see battery monitor documentation).

BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama lengkap Hutrizain Claudio Raypa Saragih lahir di Banda Aceh, 17 Agustus 1996. Merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Bistok Saragih dan Ibu Elisna Zakir. Pendidikan formal yang telah ditempuh oleh penulis adalah di SD Methodist Pematangsiantar dari tahun 2002 s/d 2008, kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Bintang Timur Pematangsiantar dari tahun 2008 s/d 2011, dan kemudian melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 2 Saposurung Balige dari tahun 2011 s/d 2014. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan studi dalam jalur pendidikan Strata 1 (S1) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Selama kegiatan perkuliahan penulis aktif dalam mengikuti berbagai kegiatan kemahasiswaan seperti menjadi staff departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) di Badan Eksekutif Mahasiswa – Fakultas Teknologi Kelautan dari tahun 2015 s/d 2016, penulis juga aktif mengikuti kegiatan pelatihan LKMM Tingkat Pra Dasar dan Tingkat Dasar dari tahun 2014 s/d 2015, dan penulis juga aktif menjadi pengurus organisasi kedaerahan sebagai staff dan ketua departemen dari tahun 2015 s/d 2017. Dalam menyelesaikan pendidikan S1 ini, penulis mengambil skripsi di bidang *Marine Electrical and Automation System* (MEAS).